



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117940761 A

(43) 申请公布日 2024. 04. 26

(21) 申请号 202180102439.3

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2021.09.16

G01N 21/45 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2024.03.15

G03H 1/08 (2006.01)

G01B 11/24 (2006.01)

G01N 21/88 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2021/034111 2021.09.16

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02023/042339 JA 2023.03.23

(71) 申请人 大塚电子株式会社  
地址 日本大阪府

(72) 发明人 下田健作 水口勉 佐野弘幸

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事  
务所(普通合伙) 11277  
专利代理师 刘新宇 李靖

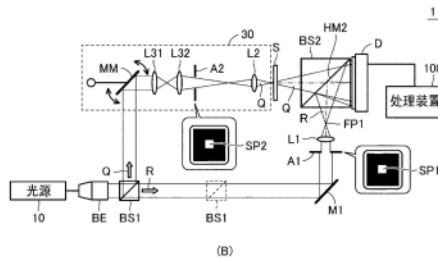
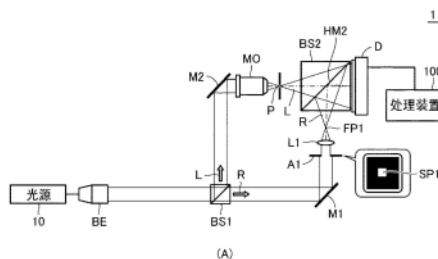
权利要求书2页 说明书23页 附图17页

## (54) 发明名称

光学测定系统和光学测定方法

## (57) 摘要

光学测定系统包括：第一光源，其产生近红外线；硅基的图像传感器；以及光学系统，其包括将来自第一光源的光分支为第一光和第二光的分束器。光学系统构成为利用图像传感器记录第一全息图，该第一全息图是利用作为发散光的第二光将利用第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图。



1. 一种光学测定系统,具备:  
第一光源,其产生近红外线;  
硅基的图像传感器;以及  
光学系统,其包括将来自所述第一光源的光分支为第一光和第二光的分束器,  
所述光学系统构成为利用所述图像传感器记录第一全息图,所述第一全息图是利用作为发散光的所述第二光将利用所述第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图。

2. 根据权利要求1所述的光学测定系统,其中,  
所述光学系统基于利用所述第一光对所述试样进行照明所得到的透过光来生成所述第一全息图,

在所述光学系统中,基于利用所述第一光对作为所述试样的替代的、所述试样所包括的测定对象以外的基板进行照明所得到的透过光来记录第二全息图。

3. 根据权利要求1所述的光学测定系统,其中,  
所述光学系统基于利用所述第一光对所述试样进行照明所得到的反射光来生成所述第一全息图,

在所述光学系统中,基于利用所述第一光对作为所述试样的替代的基准参照面进行照明所得到的反射光来记录第二全息图。

4. 根据权利要求1~3中的任一项所述的光学测定系统,其中,  
所述光学测定系统还具备:  
第二光源,其产生可见光;以及  
处理装置,

所述光学系统能够在第一结构与第二结构之间变更,所述第一结构是基于利用所述第一光对所述试样进行照明所得到的透过光来生成所述第一全息图的结构,所述第二结构是基于利用所述第一光对所述试样进行照明所得到的反射光来生成所述第一全息图的结构,

所述处理装置构成为:

基于在将所述第一光源与所述光学系统的所述第一结构进行了组合时记录的所述第一全息图,来测定所述试样的内部构造,

基于在将所述第二光源与所述光学系统的所述第二结构进行了组合时记录的所述第一全息图,来测定所述试样的表面形状。

5. 根据权利要求1~4中的任一项所述的光学测定系统,其中,  
所述光学系统是离轴全息光学系统。

6. 根据权利要求1~5中的任一项所述的光学测定系统,其中,  
所述光学系统包括限制部,所述限制部对利用所述第一光对所述试样进行照明的范围的大小进行限制,以使得在由所述图像传感器记录的全息图的空间频率区域中所述第一光所对应的成分与所述第一光所对应的成分以外的成分不重叠。

7. 一种光学测定方法,是使用了光学系统的光学测定方法,所述光学系统包括将来自产生近红外线的第一光源的光分支为第一光和第二光的分束器,所述光学测定方法包括以下步骤:

利用硅基的图像传感器来记录第一全息图,所述第一全息图是利用作为发散光的所述

第二光将利用所述第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图;以及利用所述图像传感器来记录第二全息图,所述第二全息图是在不存在所述试样的状态下利用所述第二光对所述第一光进行调制而得到的全息图。

8. 一种光学测定系统,具备:

光源;

光学系统,其包括将来自所述光源的光分支为第一光和第二光的分束器;

图像传感器,其记录通过所述光学系统生成的全息图;以及

处理装置,其基于第一全息图和第二全息图来计算试样的当前关注的面即试样面中的振幅相位分布,所述第一全息图是利用所述第二光将利用所述第一光对所述试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图,所述第二全息图是在不存在所述试样的状态下利用所述第二光对所述第一光进行调制而得到的全息图,

其中,所述光学系统包括改变利用所述第一光进行照明的方式的机构,

所述处理装置构成为:将针对利用所述第一光进行照明的每个方式计算出的振幅相位分布以保持复数形式进行累积,来计算合成振幅相位分布。

9. 根据权利要求8所述的光学测定系统,其中,

所述机构改变所述第一光进行照明的角度。

10. 根据权利要求9所述的光学测定系统,其中,

所述机构使所述第一光的入射角度固定并改变方位角。

11. 根据权利要求8~10中的任一项所述的光学测定系统,其中,

所述光学系统包括限制部,所述限制部对利用所述第一光对所述试样进行照明的范围的大小进行限制,以使得在由所述图像传感器记录的全息图的空间频率区域中所述第一光所对应的成分与所述第一光所对应的成分以外的成分不重叠。

12. 根据权利要求8~11中的任一项所述的光学测定系统,其中,

所述处理装置提供用户接口画面,所述用户接口画面用于受理对利用所述第一光进行照明的方式的数量的设定。

13. 一种光学测定方法,是使用了光学系统的光学测定方法,所述光学系统包括将来自光源的光分支为第一光和第二光的分束器,所述光学测定方法包括以下步骤:

利用图像传感器来记录第一全息图,所述第一全息图是利用所述第二光将利用所述第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图;

利用图像传感器来记录第二全息图,所述第二全息图是在不存在所述试样的状态下利用所述第二光对所述第一光进行调制而得到的全息图;

改变利用所述第一光进行照明的方式;

针对利用所述第一光进行照明的每个方式,基于所述第一全息图和所述第二全息图来计算所述试样的当前关注的面即试样面中的振幅相位分布;以及

将针对利用所述第一光进行照明的各方式计算出的所述振幅相位分布以保持复数形式进行累积,来计算合成振幅相位分布。

## 光学测定系统和光学测定方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用数字全息的光学测定系统和光学测定方法。

### 背景技术

[0002] 以往以来,存在一种检查可能在硅晶圆等试样中产生的缺陷的技术。

[0003] 例如,日本特开2011-033449号(专利文献1)公开了以下技术:使用对晶圆照射红外光而得到的透过图像来检查晶圆的内部和表背面的缺陷。另外,实现基于红外光进行的晶圆内部缺陷检查的装置是公知的(参照非专利文献1等)。

[0004] 另外,作为以更高的精度测定试样的形状的方法,提出了数字全息并得以实用化。数字全息是如下技术:通过观测使参考光与以光对试样进行照明所产生的物体光重合而产生的干涉条纹来获取物体光的波前的形状,从而测定试样的形状等。

[0005] 例如,国际公开第2012/005315号(专利文献2)公开了一种能够通过采用反射型的光学系统来测定试样的形状的结构。另外,国际公开第2020/045584号(专利文献3)公开了一种使用立方光束耦合器的结构,该结构能够容易地实现大数值孔径的记录和反射型照明。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献1:日本特开2011-033449号

[0009] 专利文献2:国际公开第2012/005315号

[0010] 专利文献3:国际公开第2020/045584号

[0011] 专利文献

[0012] 专利文献1:TORAY,Wafer internal defect inspection system“INSPEC TRA(R) IR”Series[online],[搜索日2021.09.06],因特网<URL:[https://www.toray-eng.com/tasmit/products/measuring/mea\\_020.html](https://www.toray-eng.com/tasmit/products/measuring/mea_020.html)>

### 发明内容

[0013] 发明要解决的问题

[0014] 上述的日本特开2011-033449号(专利文献1)所公开的技术采用了基于红外光的透过率之差的测定方法,难以检测nm级的缺陷。另外,上述的晶圆内部缺陷检查(非专利文献1)也采用了基于红外光的透过率之差的测定方法,难以检测nm级的缺陷。

[0015] 另外,在公知的数字全息(参照专利文献2和专利文献3等)中,当想要以红外线对试样进行照明来再生像时,难以使SN比(signal-to-noise ratio:信噪比)大。

[0016] 本发明的一个目的在于提供一种能够照射近红外线来测定试样的技术。本发明的另一目的在于提供一种能够提高测定的SN比的技术。

[0017] 用于解决问题的方案

[0018] 根据本发明的某一方面的光学测定系统包括:第一光源,其产生近红外线;硅基的

图像传感器;以及光学系统,其包括将来自第一光源的光分支为第一光和第二光的分束器。光学系统构成为利用图像传感器记录第一全息图,该第一全息图是利用作为发散光的第二光将利用第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图。

[0019] 光学系统也可以基于利用第一光对试样进行照明所得到的透过光来生成第一全息图。在光学系统中,也可以是,基于利用第一光对作为试样的替代的、试样所包括的测定对象以外的基板进行照明所得到的透过光来记录第二全息图。

[0020] 光学系统也可以基于利用第一光对试样进行照明所得到的反射光来生成第一全息图。在光学系统中,也可以是,基于利用第一光对作为试样的替代的基准参照面进行照明所得到的反射光来记录第二全息图。

[0021] 光学测定系统也可以还包括产生可见光的第二光源和处理装置。光学系统也可以能够在第一结构与第二结构之间变更,该第一结构是基于利用第一光对试样进行照明所得到的透过光来生成第一全息图的结构,该第二结构是基于利用第一光对试样进行照明所得到的反射光来生成第一全息图的结构。处理装置也可以基于在将第一光源与光学系统的第一结构进行了组合时记录的第一全息图,来测定试样的内部构造,并基于在将第二光源与光学系统的第二结构进行了组合时记录的第一全息图,来测定试样的表面形状。

[0022] 光学系统也可以是离轴全息光学系统。

[0023] 光学系统也可以包括限制部,该限制部对利用第一光对试样进行照明的范围的大小进行限制,以使得在由图像传感器记录的全息图的空间频率区域中第一光所对应的成分与第一光所对应的成分以外的成分不重叠。

[0024] 根据本发明的另一方面,提供一种使用了光学系统的光学测定方法,该光学系统包括将来自产生近红外线的第二光源的光分支为第一光和第二光的分束器。光学测定方法包括以下步骤:利用硅基的图像传感器来记录第一全息图,该第一全息图是利用作为发散光的第二光将利用第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图;以及利用图像传感器来记录第二全息图,该第二全息图是在不存在试样的状态下利用第二光对第一光进行调制而得到的全息图。

[0025] 根据本发明的又一方面的光学测定系统包括:光源;光学系统,其包括将来自光源的光分支为第一光和第二光的分束器;图像传感器,其记录通过光学系统生成的全息图;以及处理装置,其基于第一全息图和第二全息图来计算试样的当前关注的面即试样面中的振幅相位分布,该第一全息图是利用第二光将利用第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图,该第二全息图是在不存在试样的状态下利用第二光对第一光进行调制而得到的全息图。光学系统包括改变利用第一光进行照明的方式的机构。处理装置构成为:将针对利用第一光进行照明的每个方式计算出的振幅相位分布以保持复数形式进行累积,来计算合成振幅相位分布。

[0026] 机构也可以改变第一光进行照明的角度。

[0027] 机构也可以使第一光的入射角度固定并改变方位角。

[0028] 光学系统也可以包括限制部,该限制部对利用第一光对试样进行照明的范围的大小进行限制,以使得在由图像传感器记录的全息图的空间频率区域中第一光所对应的成分与第一光所对应的成分以外的成分不重叠。

[0029] 处理装置也可以提供用户接口画面,该用户接口画面用于受理对利用第一光进行

照明的方式的数量的设定。

[0030] 根据本发明的又一方面,提供一种使用了光学系统的光学测定方法,该光学系统包括将来自光源的光分支为第一光和第二光的分束器。光学测定方法包括以下步骤:利用图像传感器来记录第一全息图,该第一全息图是利用第二光将利用第一光对试样进行照明所得到的光进行调制而得到的全息图;利用图像传感器来记录第二全息图,该第二全息图是在不存在试样的状态下利用第二光对第一光进行调制而得到的全息图;改变利用第一光进行照明的方式;针对利用第一光进行照明的每个方式,基于第一全息图和第二全息图来计算试样的当前关注的面即试样面中的振幅相位分布;以及将针对利用第一光进行照明的各方式计算出的振幅相位分布以保持复数形式进行累积,来计算合成振幅相位分布。

[0031] 发明的效果

[0032] 根据本发明的某一实施方式,能够实现能够以近红外线进行照明来测定试样的技术。根据本发明的另一实施方式,能够实现能够提高测定的SN比的技术。

## 附图说明

[0033] 图1是示出根据实施方式1的光学测定系统的结构例的示意图。

[0034] 图2是示出根据实施方式1的光学测定系统中的测定用光学系统的详细结构例的示意图。

[0035] 图3是用于说明在根据本实施方式的光学测定系统中通过改变照明光进行照明的方式而得到的效果的图。

[0036] 图4是用于说明物体光和离轴参考光入射于图像传感器的记录面的状态的图。

[0037] 图5是用于说明根据本实施方式的光学测定系统中的试样与离轴参考光R之间的关系关系的图。

[0038] 图6是用于说明根据本实施方式的光学测定系统中的与离轴全息图有关的空间频率区域的关系的图。

[0039] 图7是示出使用根据实施方式1的光学测定系统所进行的表面形状的测定方法的处理过程的流程图。

[0040] 图8是示出使用根据实施方式1的光学测定系统所进行的内部构造的测定方法的处理过程的流程图。

[0041] 图9是示出根据实施方式2的光学测定系统的结构例的示意图。

[0042] 图10是示出使用根据实施方式2的光学测定系统所进行的表面形状的测定方法的处理过程的流程图。

[0043] 图11是示出使用根据实施方式2的光学测定系统所进行的内部构造的测定方法的处理过程的流程图。

[0044] 图12是示出根据本实施方式的光学测定系统所包括的处理装置的硬件结构例的示意图。

[0045] 图13是示出根据本实施方式的光学测定系统所包括的处理装置的功能结构例的示意图。

[0046] 图14是示出在根据本实施方式的光学测定系统中提供的用户接口画面的一例的示意图。

- [0047] 图15是示出根据本实施方式的光学测定系统对表面形状的测定例的图。
- [0048] 图16是示出根据本实施方式的光学测定系统对内部构造状的测定例的图。
- [0049] 图17是示出根据本实施方式的光学测定系统的复合结构的一例的示意图。

## 具体实施方式

[0050] 参照附图来详细地说明本发明的实施方式。此外,对图中的相同或相当的部分标注相同的标记且不重复说明。

[0051] <A. 光学测定系统>

[0052] 首先,根据本实施方式的光学测定系统利用使用如点光源这样的发散光来作为参考光的数字全息。在本实施方式中,对在试样与图像传感器之间不存在透镜的、无透镜数字全息的结构例进行说明。

[0053] 在下面的说明中,主要对采用离轴全息的光学系统的光学测定系统进行说明。在实施方式1中,例示透过型光学系统,在实施方式2中,例示反射型光学系统。此外,“本实施方式”可能包含实施方式1和实施方式2。

[0054] 根据本实施方式的光学测定系统测定试样的表面形状和内部构造。并且,根据本实施方式的光学测定系统还能够测定试样的折射率。能够测定任意的试样,例如能够用于半导体的表面检查、膜产品的厚度、折射率分布的测定、精密加工面的表面粗糙度、波纹度的评价、生物体细胞的观察、形状评价等。

[0055] <B. 实施方式1:透过型光学系统>

[0056] (b1:光学系统)

[0057] 图1是示出根据实施方式1的光学测定系统1的结构例的示意图。在图1的(A)中示出记录同轴参考光的情况下的光学系统,在图1的(B)中示出记录物体光的情况下的光学系统。光学测定系统1能够构成图1的(A)和图1的(B)所示的光学系统。

[0058] 图1的(A)所示的光学系统相当于用于记录离轴全息图 $I_{LR}$ 的光学系统,所述离轴全息图 $I_{LR}$ 是利用离轴参考光R将作为记录的基准的同轴参考光L进行调制所得到的全息图。

[0059] 图1的(B)所示的光学系统相当于用于记录离轴全息图 $I_{OR}$ 的光学系统,所述轴全息图 $I_{OR}$ 是利用作为发散光的离轴参考光R将利用照明光Q对试样S进行照明所得到的物体光O进行调整所得到的全息图。更具体地说,图1的(B)所示的光学系统基于利用照明光Q对试样S进行照明所得到的透过光来生成离轴全息图 $I_{OR}$ (物体光全息图:第一全息图)。此外,使用图1的(B)所示的光学系统还获取照明光轮廓。在该情况下,不配置试样S。

[0060] 处理装置100基于离轴全息图 $I_{LR}$ 和离轴全息图 $I_{OR}$ 来测定试样S的表面形状和内部构造等。

[0061] 参照图1的(A),光学测定系统1包括光源10、扩束器BE、分束器BS1、BS2、镜M1、M2、物镜M0、针孔P、透镜L1、掩模A1、图像传感器D来作为用于记录离轴全息图 $I_{LR}$ 的光学系统。

[0062] 光源10由激光器等构成,产生相干光。在根据本实施方式的光学测定系统中,也可以使光源10所产生的光的波长范围根据测定内容(表面形状的测定或内部构造的测定)而不同。

[0063] 更具体地说,在测定试样S的表面形状的情况下,也可以使用产生可见光的光源10。具体地说,使用产生具有380nm~780nm的至少一部分波长区域的成分的光的光源10。例

如,也可以使用在532nm具有峰波长的可见光源。

[0064] 另一方面,在测定试样S的内部构造的情况下,也可以使用产生近红外线的光源10。具体地说,使用产生具有1000nm~1200nm的至少一部分波长区域的成分的光的光源10。例如,也可以使用在1030nm具有峰波长的近红外光源。

[0065] 在根据本实施方式的光学测定系统中,构成为能够任意地变更光源10的种类。

[0066] 图像传感器D记录通过图1的(A)和图1的(B)所示的光学系统生成的全息图。作为图像传感器D,使用一般的CCD(Charge-Coupled Device:电荷耦合器件)图像传感器或CMOS(Complementary MOS:互补金属氧化物半导体)图像传感器。这些图像传感器是由形成在硅基板上的电子电路构成的半导体集成电路。即,在根据本实施方式的光学测定系统中,使用硅基的图像传感器。硅基的图像传感器主要对可见光范围具有光接收灵敏度,但是除了可见光以外还对近红外线具有光接收灵敏度。

[0067] 扩束器BE用于将来自光源10的光的截面直径扩大到规定尺寸。分束器BS1将通过扩束器BE被扩大后的光分支为两束。通过分束器BS1分支出的一束光相当于同轴参考光L(第一光),另一束光相当于离轴参考光R(第二光)。

[0068] 同轴参考光L被镜M2反射,并被引导到分束器BS2。并且,同轴参考光L透过分束器BS2的半透半反镜HM2,并被引导到图像传感器D。在镜M2与分束器BS2之间配置有物镜M0和针孔P。同轴参考光L通过物镜M0被聚光,并且通过针孔P被缩小截面直径。针孔P相当于同轴参考光L的点光源的位置。物镜M0和针孔P实现同轴参考光L的点光源。

[0069] 另一方面,离轴参考光R被镜M1反射,并被引导到分束器BS2。并且,离轴参考光R被分束器BS2的半透半反镜HM2反射,并被引导到图像传感器D。在镜M1与分束器BS2之间配置有掩模A1和透镜L1。离轴参考光R在透过掩模A1之后,通过透镜L1被聚光,聚光的位置即聚光点FP1相当于离轴参考光R的点光源的位置。

[0070] 掩模A1在离轴参考光R通过的区域具有开口图案SP1。与掩模A1的开口图案SP1相当的像在图像传感器D成像。将掩模A1的开口图案SP1的大小决定为使得通过掩模A1后的离轴参考光R不会被照到超过分束器BS2的靠图像传感器D侧的面的范围。通过像这样决定掩模A1的开口图案SP1的大小,来抑制由于不需要的干涉产生噪声。

[0071] 另外,将离轴参考光R调整为能够将同轴参考光L记录为全息图。

[0072] 同轴参考光L和离轴参考光R经由如上述那样的光学路径,通过配置于图像传感器D的前级的分束器BS2而重合。即,在图像传感器D中,获取利用作为发散光的离轴参考光R对同轴参考光L进行调制所得到的离轴全息图 $I_{LR}$ 。

[0073] 分束器BS2优选构成为立方型,以便容易配置于图像传感器D的前级。同轴参考光L的点光源和离轴参考光R的点光源通过分束器BS2配置为在光学上靠近。

[0074] 参照图1的(B),光学测定系统1包括作为用于记录离轴全息图 $I_{OR}$ 的光学系统的测定用光学系统30来代替镜M2、物镜M0以及针孔P。

[0075] 测定用光学系统30具有改变照明光进行照明的方式的机构以及限制所照明的范围的机构。更具体地说,测定用光学系统30包括可动镜MM、透镜L2、L31、L32以及掩模A2。

[0076] 在测定用光学系统30与分束器BS2之间配置有作为测定对象的试样S。

[0077] 此外,在相比于图1的(A)所示的光学系统的物镜M0和针孔P需要的距离而言测定用光学系统30需要的距离长的情况下,分束器BS1配置于更靠近光源10侧的位置。

[0078] 从分束器BS1的一方输出的光作为用于对试样S进行照明的照明光Q(第一光)被使用。

[0079] 根据本实施方式的光学测定系统具有改变利用照明光Q进行照明的方式的机构。作为这样的机构的一例,在图1的(B)中示出可动镜MM。更具体地说,通过可动镜MM进行旋转,来改变照明光Q进行照明的方式。在该情况下,改变照明光Q进行照明的方式意味着改变照明光Q进行照明的角度。下面,也将照明光Q进行照明的角度称为“照明角度”。

[0080] 另一方面,从分束器BS1的另一方输出的离轴参考光R(第二光)经由与图1的(A)共同的光学路径被引导到图像传感器D。

[0081] 利用照明光Q对试样S进行照明所得到的物体光O(即、透过试样S后的光)透过分束器BS2的半透半反镜HM2,并被引导到图像传感器D。透镜L3、掩模A2、透镜L2按照所记载的顺序配置于可动镜MM与分束器BS2之间。

[0082] 照明光Q通过透镜L3被聚光,并通过掩模A2。通过掩模A2后的照明光Q进一步通过透镜L2被聚光,并在试样S成像。

[0083] 掩模A2相当于将利用照明光Q对试样S进行照明的范围限制在规定范围的限制部。作为限制部的一例,可以使用在遮蔽构件形成有与规定范围对应的开口图案SP2的掩模A2。照明光Q通过与开口图案SP2对应的区域。

[0084] 掩模A2的开口图案SP2的像通过透镜L2并在试样S成像。即,仅有对掩模A2进行照明的光中的、与开口图案SP2对应的部分的光通过掩模A2。由此,能够限制通过掩模A2后的照明光Q对试样S进行照明的范围。通过限制照明光Q的照明范围,能够削减不期望的光来提高测定精度。

[0085] 在光学测定系统1中,照明范围有时根据试样S的厚度而变动,因此在像这样变动的情况下,根据需要来变更掩模A2的开口图案SP2、或者变更用于将照明光Q在试样S成像的透镜L2的位置等。

[0086] 另外,以照明光Q对掩模A2进行照明的结构不限于图1的(B)所示的结构,能够采用任意的结构。

[0087] 图2是示出根据实施方式1的光学测定系统1中的测定用光学系统30的详细结构例的示意图。

[0088] 参照图2的(A),照明光Q依次通过可动镜MM、透镜L31、透镜L32、掩模A2、透镜L2,并在试样S成像。透镜L31和透镜L32构成4f光学系统等成像光学系统20。

[0089] 入射到可动镜MM的照明光Q向与可动镜MM的角度(朝向)对应的方向反射后,入射于成像光学系统20。然后,照明光Q在被可动镜MM反射的方向上传播,在通过掩模A2的开口图案SP2之后,以与开口图案SP2相同的形状在试样S上成像。

[0090] 在图2的(B)中示出将对试样S进行照明的照明光Q设为平行光的情况下的光学系统的一例。更具体地说,在图2的(B)所示的光学系统中,配置透镜L21和透镜L22来代替图2的(A)所示的光学系统的透镜L2。透镜L21和透镜L22均为聚光透镜,通过进行组合,通过掩模A2后的照明光Q保持平行光的状态对试样S进行照明。

[0091] 配置于掩模A2的前后的光学系统并不限于图2的(A)和图2的(B)所示的光学系统。作为配置于掩模A2的前级的光学系统,可以采用能够将来自可动镜MM的反射光以覆盖掩模A2的开口图案SP2的方式进行投影的任意结构的光学系统。另外,作为配置于掩模A2的

后级的光学系统,可以采用能够将掩模A2的开口图案SP2的像在试样S成像的任意结构的光学系统。只要满足这些必要条件,就能够任意地设计透镜的个数和种类。另外,不限于透镜,可以利用任意的光学器件来实现。

[0092] 此外,在可动镜MM与掩模A2配置为在光学上靠近的情况下,可以省略透镜L31、L32。

[0093] (b2:测定处理)

[0094] 接着,对在根据实施方式1的光学测定系统1中测定试样S的形状的基本处理进行说明。在下面的说明中,将图像传感器D的受光面设为“记录面”,将记录面与分束器BS2的中心光轴的交点设为“原点”。将光轴方向设为z轴,将与z轴正交的两个轴分别设为x轴和y轴。即,光轴相对于图像传感器D的记录面垂直,x轴和y轴相对于图像传感器D的记录面平行。此外,在其它实施方式中也是同样的。

[0095] 图像传感器D的记录面中的物体光O、离轴参考光R、同轴参考光L的分布能够用如以下的式(1)~(3)那样的通用式来表示。

[0096] [数1]

$$L(x, y) = L_0(x, y)\exp[i(\varphi_L(x, y) - \omega t)] \quad \cdots(1)$$

$$O(x, y) = O_0(x, y)\exp[i(\varphi_O(x, y) - \omega t)] \quad \cdots(2)$$

$$R(x, y) = R_0(x, y)\exp[i(\varphi_R(x, y) - \omega t)] \quad \cdots(3)$$

[0100] 同轴参考光L、物体光O、离轴参考光R是互相具有相干的角频率 $\omega$ 的光。在图1的(A)所示的光学系统中记录的离轴全息图 $I_{LR}$ 如以下的式(4)那样被计算为用式(3)表示的光与用式(1)表示的光的合成光的光强度。另外,在图1的(B)所示的光学系统中记录的离轴全息图 $I_{OR}$ 如以下的式(5)那样被计算为用式(2)表示的光与用式(3)表示的光的合成光的光强度。

[0101] [数2]

$$I_{LR}(x, y) = |L + R|^2 = L_0^2 + R_0^2 + L_0R_0\exp[i(\varphi_L - \varphi_R)] + L_0R_0\exp[-i(\varphi_L - \varphi_R)] \quad \cdots(4)$$

$$I_{OR}(x, y) = |O + R|^2 = O_0^2 + R_0^2 + O_0R_0\exp[i(\varphi_O - \varphi_R)] + O_0R_0\exp[-i(\varphi_O - \varphi_R)] \quad \cdots(5)$$

[0104] 此外,离轴全息图 $I_{LR}$ 不取决于物体光O的状态,是不变的,因此只要至少记录一次即可。

[0105] 在式(4)和式(5)中,右边的第一项相当于物体光O或同轴参考光L的光强度成分,右边的第二项相当于离轴参考光R的光强度成分,右边的第三项相当于物体光O通过离轴参考光R被调制而产生的直接像成分,右边的第四项相当于共轭像成分。

[0106] 当对式(4)和式(5)应用带通滤波器来提取第三项的直接像成分时,关于记录有同轴参考光L的复振幅离轴全息图 $J_{LR}$ 和记录有物体光O的复振幅离轴全息图 $J_{OR}$ ,分别如以下的式(6)和式(7)那样进行计算。

[0107] [数3]

$$J_{LR}(x, y) = L_0R_0\exp[i(\varphi_L - \varphi_R)] \quad \cdots(6)$$

$$J_{OR}(x, y) = O_0R_0\exp[i(\varphi_O - \varphi_R)] \quad \cdots(7)$$

[0110] 在此,当用式(7)除以式(6)时,离轴参考光R的成分被去除,以同轴参考光L为基准的复振幅同轴全息图 $J_{OL}$ 如以下的式(8)那样进行计算。

[0111] [数4]

$$[0112] \quad J_{oL}(x, y) = \frac{O_0}{L_0} \exp[i(\varphi_o - \varphi_L)] \quad \dots(8)$$

[0113] 同轴参考光L的成分能够通过将式(8)所示的复振幅同轴全息图 $J_{oL}$ 乘以同轴参考光L来去除。同轴参考光L的计算方法能够采用国际公开第2020/045584号(专利文献3)所记载的方法。通过以上的处理,得到如以下的式(9)所示那样的物体光全息图U。

[0114] [数5]

$$[0115] \quad U(x, y) = J_{oL}L = O_0 \exp(i\varphi_o(x, y)) \quad \dots(9)$$

[0116] 在此,在物体光全息图U包含不满足取样定理的频率成分的情况下,应用如以下那样的校正处理,来生成具有能够再生与记录面离开规定距离的当前关注的面(下面也称为“试样面”)的状态的信息的全息图。将具有能够再生试样面的状态的信息的全息图设为再生用物体光全息图 $U_\Sigma$ 。此外,在满足取样定理的情况下,将物体光全息图U直接设为再生用物体光全息图 $U_\Sigma$ 。

[0117] 作为校正处理的一例,可以在去除同轴参考光L之前通过插值来使构成从图像传感器D输出的图像的采样点数增加。或者,应用在国际公开第2020/045584号(专利文献3)中公开的分割合成工序,将图像传感器D的像素间距细分化。通过使用分割合成工序,能够减少运算量。

[0118] 通过对再生用物体光全息图 $U_\Sigma$ 进行基于平面波展开的衍射计算,能够再生任意的试样面处的光波分布。将通过平面波展开来使再生用物体光全息图 $U_\Sigma$ 传播距离d后的(与记录面离开距离d的试样面处的)全息图设为 $U_d$ 。

[0119] 如果将从图像传感器D的受光面(记录面)起到想要再生的距离d为止所包括的M个介质( $m=1, 2, \dots, M$ )的距离设为 $d_m$ 、将折射率设为 $n_m$ ,则全息图 $U_d$ 能够如以下的式(10)那样概括。其中,式中的 $k_{zm}$ 根据式(11)来计算。

[0120] [数6]

$$[0121] \quad U_d(x, y) = F^{-1} \left[ F[U_\Sigma(x, y)] \prod_{m=1}^M T_{m,m+1} \exp(ik_{zm}d_m) \right] \quad \dots(10)$$

$$[0122] \quad k_{zm} = \sqrt{\left(\frac{2\pi n_m}{\lambda}\right)^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad \dots(11)$$

[0123] 此外,在存在多个介质的情况下,设为介质间的界面相对于记录面是平行的。另外,将从介质m入射于介质m+1时的透过系数表示为 $T_{m,m+1}(k_x, k_y)$ 。其中,将 $T_{M,M+1}(k_x, k_y)$ 总是视为1。

[0124] 例如,在仅在空气中传播了距离d的情况下, $M=1$ ,且 $d_1=d$ 、 $n_m=1$ 。

[0125] 此外,在从介质m入射于介质m+1时的透过系数不取决于波数 $k_x$ 、 $k_y$ 而能够视为几乎一样的情况下,可以设为 $T_{m,m+1} \equiv 1$ 来将计算简化。

[0126] (b3:改变照明光进行照明的方式的机构)

[0127] 接着,对改变照明光Q进行照明的方式的机构进行说明。

[0128] 根据本实施方式的光学测定系统改变照明光Q进行照明的方式来记录多个离轴全

息图 $I_{OR}$  (根据有无试样 $S$ 而成为物体光全息图或照明光全息图)。作为照明光 $Q$ 进行照明的方式,例如可以采用照明角度。

[0129] 图3是用于说明在根据本实施方式的光学测定系统中通过改变照明光 $Q$ 进行照明的方式而得到的效果的图。

[0130] 参照图3的(A)~(C)来设想存在物体A和物体B的情况,其中,物体A存在于试样面,物体B位于离开试样面的位置。物体A是应该作为像而再生的对象,物体B是存在于试样面以外的、使得产生散射的物体。

[0131] 如图3的(A)所示,在使照明光 $Q$ 从单一方向进行照明的情况下(照明角度单一的情况下),通过在物体B处的散射而产生的衍射光对试样面(照明光的焦点位置)造成影响,使所再生的像的质量恶化。

[0132] 在此,当改变照明角度时,如图3的(B)所示,位于试样面上的物体A的像的位置不变化,但另一方面,通过在物体B处的散射而产生的衍射光在试样面上的位置依赖于照明角度而位置发生变化。

[0133] 因此,如图3的(C)所示,改变照明角度来再生多个像,对所再生的多个像进行求和。通过像这样对多个像进行求和,多个像之间的信号的振幅及相位大致相同的物体A被强调,而物体B的影响逐渐变得相对小。

[0134] 使照明角度进行 $i$ 种( $i$ 为2以上的整数)改变(照明光 $Q_i$ ),来记录多个离轴全息图 $I_{ORi}$ 。基于离轴全息图 $I_{ORi}$ 来分别计算再生用物体光全息图 $U_{\Sigma i}$ 。然后,将通过平面波展开使再生用物体光全息图 $U_{\Sigma i}$ 传播到试样面(传播的距离相同)所得到的光波分布设为物体光分布 $U_{Si}$ 。并且,通过将由照明光 $Q_i$ 产生的试样面处的照明光分布 $Q_{Si}$ 除以复振幅的物体光分布 $U_{Si}$ 来计算试样面处的振幅相位分布 $U_{Pi}$ 。

[0135] 这样,试样面处的振幅相位分布 $U_{Pi}$ 是基于物体光全息图(第一全息图)和照明光全息图(第二全息图)来计算出的,该物体光全息图是利用离轴参考光 $R$ 将利用照明光 $Q$ 对试样 $S$ 进行照明所得到的物体光 $O$ 进行调制而得到的全息图,该照明光全息图是在不存在试样 $S$ 的状态下利用离轴参考光 $R$ 对照明光 $Q$ 进行调制而得到的全息图。振幅相位分布 $U_{Pi}$ 是对照明光 $Q_i$ 的相位分布 $\theta_{Qi}$ 加上由于试样 $S$ 产生的相位变化量 $\Delta\theta_i$ 所得到的相位分布。

[0136] 最终,按照以下的(12)式,将以利用照明光进行照明的每个方式(照明角度)计算出的振幅相位分布 $U_{Pi}$ 以保持复数形式进行累积,来计算合成振幅相位分布 $U_{SA}$ 。

[0137] [数7]

$$[0138] \quad U_{SA} = \sum_i U_{Pi} = \sum_i \frac{U_{Si}}{Q_i} \quad \dots(12)$$

[0139] 如上述的(12)式所示,将振幅相位分布 $U_{Pi}$ 以保持复数形式进行累积而不变换为强度(绝对值),由此能够作为如向量那样的具有方向性的信息来处理。其结果,如果能够将试样面以外的相位成分视作足够随机,则能够期待相互抵消后收敛为平均值零。其结果,能够抑制通过在物体B处的散射而产生的衍射光的影响。由此,能够提高所再生的像的SN比。

[0140] 此外,在将振幅相位分布 $U_{Pi}$ 变换为强度(绝对值)的基础上进行累积的情况下,强度始终为正的,因此通过在物体B处的散射而产生的衍射光的影响会持续保留。

[0141] 为了使试样面以外的相位成分能够视作足够随机,优选的是,将照明光 $Q$ 进行照明的方式(例如,照明角度)设定得足够多。SN比与照明光 $Q$ 进行照明的方式的数量的平方根成

正比(例如,与以1种照明角度进行了测定的情况相比,在以4种照明角度进行了测定的情况下,SN比变为2倍)。

[0142] 能够改变照明角度的范围在光学上是根据试样S的大小、图像传感器D的分辨率、图像传感器D的视场的大小等来决定的。在光学上容许的范围内改变照明角度。在此,改变照明角度意味着使照明光Q的入射角度固定并改变方位角。

[0143] 如后所述,改变照明角度的数量典型地说是基于所要求的质量和容许的处理时间等来决定的。

[0144] 此外,在由于干扰而基于再生用物体光全息图 $U_{\Sigma_i}$ 再生的像的坐标产生了位置偏移的情况下,虽然相位分辨率不下降,但是空间分辨率(xy平面上)可能下降。在该情况下,优选的是,在修正了再生像或试样S的偏移的基础上进行累积。更具体地说,计算物体光之间的相干最大的坐标,以该计算出的坐标为基准来计算再生像或试样S的偏移。即,在计算和校正了相对于作为基准的坐标的偏移的基础上,执行累积处理。

[0145] (b4:限制进行照明的范围的机构)

[0146] 接着,对限制进行照明的范围的机构进行说明。

[0147] 为了对式(5)和式(4)应用带通滤波器来提取第三项的直接像成分,需要使得在空间频率区域中直接像成分与光强度成分及共轭像成分不重叠。因此,在本实施方式中,利用掩模A2等限制部来限制照明光Q的范围,由此防止由于空间频率区域的重叠引起的像劣化等。

[0148] 通过使配置于与试样S分离的位置的掩模A2的开口图案SP2的像在试样S成像,在维持着照明方法的自由度的情况下适当地控制干涉条纹中包括的空间频率区域宽度,由此高效地利用图像传感器D所能够记录的空间频率区域宽度。

[0149] 在光学测定系统1中,掩模A1和透镜L1实现离轴参考光R的点光源。关于记录面上的任意点处的干涉条纹的空间频率f,能够使用该点处的物体光O的入射角度 $\theta_0$ 和离轴参考光R的入射角度 $\theta_R$ 如以下的式(13)那样表示。

[0150] [数8]

$$[0151] \quad f = \frac{\sin \theta_0 - \sin \theta_R}{\lambda} \cong \frac{\theta_0 - \theta_R}{\lambda} \quad \dots(13)$$

[0152] 图4是用于说明物体光O和离轴参考光R入射于图像传感器D的记录面的状态的图。在图4的(A)中示出离轴参考光R为平面波的情况,在图4的(B)中示出离轴参考光R为球面波的情况。

[0153] 参照图4的(A),在离轴参考光R为平面波的情况下,物体光O和离轴参考光R在图像传感器D的记录面的任意点所成的角度取决于在图像传感器D的记录面上的位置。例如,物体光O和离轴参考光R在图像传感器D的记录面的上端所成的角度 $\alpha$ 与在记录面的下端所成的角度 $\beta$ 非常不同。

[0154] 与此相对地,参照图4的(B),在离轴参考光R为球面波的情况下,物体光O和离轴参考光R在图像传感器D的记录面的一点所成的角度不取决于在记录面上的位置,而是几乎相同的值。例如,物体光O和离轴参考光R在图像传感器D的记录面的上端所成的角度 $\alpha$ 与在记录面的下端所成的角度 $\beta$ 几乎相同。

[0155] 即,如果将离轴参考光R设为点光源,则能够使从试样S的任意点产生的光线(物体

光0)与从离轴参考光R的点光源产生的光线所成的角在记录面上的任意点几乎固定不变。

[0156] 当将物体光0视为与离轴参考光R的点光源处于同一z面上的波源的集合时,在该z面上的波源的位置 $(x_s, y_s)$ 与对应的空间频率 $(u_s, v_s)$ 之间,以下的式(14)所示的关系近似成立。

[0157] [数9]

$$[0158] \quad u_s = \frac{x_s}{z_L \lambda}, \quad v_s = \frac{y_s}{z_L \lambda} \quad \dots(14)$$

[0159] 式中的 $z_L$ 是从离轴参考光R的点光源到记录面为止的z轴方向上的距离, $\lambda$ 是波长。另外,将x方向的空间频率设为u,将y方向的空间频率设为v。

[0160] 如式(14)所示,可知:波源(物体光0)的z面上的位置与空间频率(频谱成分的坐标)近似地处于线性关系。因此,通过限制波源(物体光0)所存在的区域,能够控制直接像成分的空间频率区域的扩散。由此,能够高效地利用空间频率区域。

[0161] 在此,“波源所存在的区域”是指试样S被照明的范围。即,通过将掩模A2的开口图案SP2最优化来限制照明范围,由此能够适当地控制空间频率区域。此外,掩模A2仅仅是限制对试样S进行照明的范围,因此只要正确地记录有物体光0的复振幅,再生的像就不会产生失真。

[0162] 接着,对用于决定掩模A2的开口图案SP2的大小的方法进行说明。

[0163] 如上述那样,在图1的(B)所示的光学系统中记录的离轴全息图 $I_{OR}$ 如式(5)那样进行计算。在式(5)中,像再生所需的成分是第三项的直接像成分,其它项作为噪声成分叠加,因此需要通过带通滤波器进行去除。

[0164] 将图像传感器D的原点的坐标设为 $(0, 0, 0)$ ,将试样S的中心的坐标设为 $(0, 0, z_L)$ 。

[0165] 图5是用于说明根据本实施方式的光学测定系统中的试样S与离轴参考光R的关系的图。参照图5,当将离轴参考光R的点光源(聚光点FP1)关于分束器BS2的半透半反镜HM2在试样S侧展开的点光源(聚光点FP1')的坐标设为 $(x_R, y_R, z_R = z_L)$ ,并将试样S的照明范围设为x方向为a、y方向为b的尺寸的矩形时,关于第三项的直接像成分,u方向的带宽 $W_x$ 和v方向的带宽 $W_y$ 能够近似地表示为以下的式(15)那样,u方向的中心频率 $u_c$ 和v方向的中心频率 $v_c$ 能够近似地表示为以下的式(16)那样。

[0166] [数10]

$$[0167] \quad W_x = \frac{a}{z_L \lambda}, \quad W_y = \frac{b}{z_L \lambda} \quad \dots(15)$$

$$[0168] \quad u_c = \frac{x_R}{z_L \lambda}, \quad v_c = \frac{y_R}{z_L \lambda} \quad \dots(16)$$

[0169] 另外,关于共轭像成分(第四项)的u方向的带宽 $W_x$ 和v方向的带宽 $W_y$ ,也能够近似地表示为上述的式(15)那样。另一方面,共轭像成分(第四项)的u方向的中心频率 $u_c$ 和v方向的中心频率 $v_c$ 是使上述的式(16)的符号反转后的结果。

[0170] 另外,将第一项的光强度成分和第二项的光强度成分合成后的成分的带宽以原点为中心以式(15)的2倍的尺寸进行发散。

[0171] 以上的关系能够如图6那样表示。

[0172] 图6是用于说明根据本实施方式的光学测定系统中的与离轴全息图有关的空间频

率区域的关系的图。在图6的(A)中示出实空间的 $z = z_L$ 面上的、离轴参考光R的位置和试样S的照明范围。在图6的(B)中示出将在记录面( $z = 0$ )上所记录的全息图进行二维傅立叶变换后的频谱。

[0173] 参照图6的(A),在实空间中,试样S以 $(0, 0, z_L)$ 的坐标为中心以 $a \times b$ 的尺寸存在。离轴参考光R的点光源存在于从 $(0, 0, z_L)$ 的坐标向x方向离开 $x_R$ 以及向y方向离开 $y_R$ 的位置。

[0174] 参照图6的(B),在傅立叶空间(空间频率区域)中,包含物体光O的信息的第三项的直接像成分以带宽 $W_x \times W_y$ 的尺寸扩展,直接像成分的中心频率取决于离轴参考光的点光源的坐标 $(x_R, y_R)$ 。

[0175] 为了通过带通滤波器从图6的(B)所示的傅立叶空间的频谱中仅提取出包含物体光O的信息的第三项(直接像成分),需要使其不与其它项(第一项、第二项、第四项)的成分重叠。

[0176] 另一方面,图像传感器D的空间频率区域是有限的,因此使中心频率 $u_c$ 及 $v_c$ 过度地变大并不是优选的。因此,为了高效地利用图像传感器D所具有的空间频率区域,需要使第三项的成分接近不与其它项(第一项、第二项、第四项)的成分重叠的界限。

[0177] 为了使各个带宽相接近地配置,将空间频率区域宽度限制在适当的范围。在此,如果离轴参考光为发散光(点光源),则上述的式(5)的关系成立,因此通过限制照明光Q的照明范围,能够将各成分的空间频率区域宽度限制在适当的范围。

[0178] 像这样,将利用照明光Q对试样S进行照明的范围的大小(即,作为限制部的掩模A2的开口图案SP2)决定为使得在利用图像传感器D记录的全息图的傅立叶空间(空间频率区域)中照明光Q所对应的成分(第三项)与照明光Q所对应的成分以外的成分(第一项和第二项)不重叠。

[0179] 通过将各成分的空间频率区域宽度限制在适当的范围,能够高效地利用图像传感器D所具有的空间频率区域,还能够抑制由于空间频率区域的重叠产生的噪声。

[0180] 此外,对应用于离轴全息的光学系统的情况进行了说明,但在将发散光(即,点光源或能够视作点光源的光源)设为参考光的其它全息的光学系统中,上述的掩模A2在将直接像成分的空间频率区域宽度限制在图像传感器D所能够记录的范围的情况等下也是有效的。

[0181] 此外,在根据本实施方式的光学测定系统中使用的掩模A2与在光学显微镜中使用的视场光圈能够在外形上类似。然而,视场光圈是为了抑制由于多余的光(视场外的光)照到光路的中途的壁而产生的杂散光而使用的。虽然通过视场光圈能够降低噪声水平,但所抑制的杂散光是微少的,如果不是以检测微弱的光为目的,则即使不采取积极的对策也不会有较大问题。

[0182] 与此相对地,将发散光设为参考光的数字全息中的照明范围的限制带来将干涉条纹中包括的空间频率区域宽度限制在图像传感器D能够记录的范围的效果。在根据本实施方式的光学测定系统中使用的掩模A2是为了该目的而使用的。

[0183] 像这样,在根据本实施方式的光学测定系统中使用的掩模A2发挥与在光学显微镜中使用的视场光圈所发挥的效果实质上不同的效果。

[0184] 在上述的说明中,作为限制部的一例,对使用形成有预先决定的大小的开口图案SP2的掩模A2的情况进行了说明,但并不限于此,可以使用任意的光学元件来实现限制部。

[0185] 例如,可以是,通过使用偏光镜、液晶等能够控制光的透过率的光学元件,能够任意地变更开口图案(照明光通过的截面积)的大小。通过构成为能够任意地变更开口图案的大小,即使在试样S与图像传感器D之间的距离发生了变更、或者离轴参考光的点光源的位置发生了变更时,也能够容易地进行应对。

[0186] (b5:照明光轮廓)

[0187] 根据本实施方式的光学测定系统在合成振幅相位分布 $U_{SA}$ 等的计算中需要照明光轮廓。

[0188] 例如,在依次更换试样S来进行测定等情况下,还设想从记录面到试样面的距离会发生变化。在该情况下,通过衍射计算,能够基于从记录面离开某个距离的试样面处的照明光轮廓来计算其它距离下的照明光轮廓。因此,不需要在每次从记录面到试样面的距离发生变化时记录照明光轮廓。

[0189] 在试样S包括不是测定对象的基板的情况下,通过对照明光轮廓进行使用了平面波展开的介质内的传播计算,能够计算出透过基板后的照明光的照明光轮廓。在该情况下,如果基板的大致的厚度和折射率是已知的,则无需准备仅为基板的试样(作为测定对象的试样S以外的其它试样)来记录照明光轮廓。

[0190] 能够使用透过基板后的照明光轮廓来测定试样S的基板以外的层。另外,在能够仅通过基板来记录的情况下,也能够通过在仅配置有基板的状态下记录透过基板后的照明光轮廓,来省略基板的介质内的传播计算。

[0191] (b6:试样的表面形状的测定)

[0192] 接着,对使用根据实施方式1的光学测定系统1来测定试样S的表面形状的方法进行说明。在试样S的表面形状的测定中,使用由于试样产生的相位变化量。在该情况下,优选将可见光用作照明光Q。

[0193] 在根据本实施方式的光学测定系统中,使用在未配置试样S的状态下记录的照明光轮廓,从合成振幅相位分布 $U_{SA}$ 的相位分布减去照明光的相位分布 $\theta_Q$ ,由此计算由于试样S产生的相位变化量 $\Delta\theta_i$ 。

[0194] 在根据实施方式1的光学测定系统1中,使用以下的式(17)所示的由于试样S产生的相位变化量 $\Delta\theta$ 与试样S的厚度 $\Delta d$ 的关系式,来测定试样S的表面形状。

[0195] [数11]

$$[0196] \quad \Delta\theta = Ad(k_{z2} - k_{z1}) + \delta \quad \cdots (17)$$

[0197] 式中的 $k_{z1}$ 是试样S中的z方向的波数, $k_{z2}$ 是试样S所存在的介质中的z方向的波数, $\delta$ 是相位校正项, $\lambda$ 是光源波长。波数 $k_{z1}$ 和 $k_{z2}$ 能够根据以下的式(18)和式(19)来分别进行计算。

[0198] [数12]

$$[0199] \quad k_{z1} = \sqrt{\left(\frac{2\pi n_1}{\lambda}\right)^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad \cdots (18)$$

$$[0200] \quad k_{z2} = \sqrt{\left(\frac{2\pi n_2}{\lambda}\right)^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad \cdots (19)$$

[0201] 式中的 $n_1$ 是试样S所存在的介质的折射率, $n_2$ 是试样S的折射率。例如,在试样S存在

于真空中的情况下,折射率 $n_1=1$ 。

[0202] 式中的x方向的波数 $k_x$ 和y方向的波数 $k_y$ 是x方向及y方向的每单位长度的相位变化量,因此能够如以下的式(20)和式(21)那样通过对试样面处的照明光 $Q$ 的相位分布 $\theta_Q$ 进行微分来进行计算。

[0203] [数13]

$$[0204] \quad k_x(x, y) = \frac{\partial}{\partial x} \theta_Q(x, y) \quad \dots(20)$$

$$[0205] \quad k_y(x, y) = \frac{\partial}{\partial y} \theta_Q(x, y) \quad \dots(21)$$

[0206] 关于式(17)中的相位校正项 $\delta$ ,在由于试样S存在光吸收等理由而透过率为复数的情况下,使用该相位校正项 $\delta$ 来校正由复数透过率引起的相位变化。在由于试样S全部为相同的材质等理由而能够视为由复数透过率引起的相位变化在整个试样S中相同的情况下,也可以省略相位校正项 $\delta$ 。

[0207] 在由于干扰而照明光的点光源的坐标产生了位置偏移的情况下,可以通过图像传感器D上的像素的平行移动对照明光 $Q_i$ 进行校正。将平行移动的量代表性地决定为物体光分布 $U_s$ 与照明光 $Q_i$ 的相关性最大。

[0208] 在照明光的波面的形状平滑的情况下,可以通过低通滤波器、多项式近似来削减信息量。

[0209] 图7是示出使用根据实施方式1的光学测定系统1所进行的表面形状的测定方法的处理过程的流程图。图7所示的处理过程也可以将可见光源用作光源10。

[0210] 参照图7,首先,执行获取同轴参考光L的处理。更具体地说,构成图1的(A)所示的光学系统(步骤S2)。然后,从光源10产生相干光,处理装置100获取利用离轴参考光R将图像传感器D中记录的同轴参考光L进行调制而得到的离轴全息图 $I_{LR}$ (步骤S4)。此外,关于步骤S2和S4,只要不变更与离轴参考光R有关的光学系统,则仅执行一次即可。另外,步骤S2和S4的处理用于提高再生像的准确性,可以根据所要求的准确性来省略步骤S2和S4的处理。

[0211] 接着,执行获取照明光轮廓的处理。更具体地说,构成图1的(B)所示的光学系统(步骤S6)。此时,维持不存在试样S的状态。可以将具有与试样S的基板相同厚度的基板配置于用于配置试样S的位置(试样位置),也能够不在试样位置什么都不配置。该状态相当于测定的参考。

[0212] 接下来,驱动可动镜MM来设定为多个照明角度中的某个照明角度(步骤S8)。而且,使光源10产生相干光,处理装置100获取图像传感器D中记录的照明光全息图 $Q_i(x, y)$ (第二全息图)(步骤S10)。

[0213] 像这样,处理装置100利用图像传感器D来记录在不存在试样S的状态下利用离轴参考光R将利用照明光Q进行照明所得到的光进行调制所得到的全息图。或者,处理装置100利用图像传感器D来记录利用照明光Q对作为试样S的替代的、不被当作试样S所包括的测定对象的仅基板进行照明所得到的透过光的全息图。

[0214] 处理装置100根据照明光全息图 $Q_i(x, y)$ 来计算照明光轮廓 $Q_{\Sigma i}(x, y)$ (步骤S12)。

[0215] 步骤S8~S12的处理被重复与预先决定的照明角度的数量(N)相应的次数( $1 \leq i \leq N$ )。

[0216] 接着,执行获取试样S的振幅相位分布的处理。更具体地说,将试样S配置于图1的(B)所示的光学系统的本来的位置(步骤S14)。接下来,驱动可动镜MM来设定为多个照明角度中的某个照明角度(步骤S16)。然后,使光源10产生相干光,处理装置100获取图像传感器D中记录的物体光全息图 $U_i(x,y)$ (步骤S18)。

[0217] 接下来,处理装置100根据物体光全息图 $U_i(x,y)$ 来计算再生用物体光全息图 $U_{\Sigma_i}(x,y)$ (步骤S20)。而且,处理装置100通过平面波展开使再生用物体光全息图 $U_{\Sigma_i}(x,y)$ 和对应的照明光轮廓 $Q_{\Sigma_i}(x,y)$ 传播到试样面的位置,来计算试样面处的物体光分布 $U_{S_i}(x,y)$ 和照明光分布 $Q_{S_i}(x,y)$ (步骤S22)。并且,处理装置100将物体光分布 $U_{S_i}(x,y)$ 除以对应的照明光分布 $Q_{S_i}(x,y)$ ,来计算试样面处的振幅相位分布 $U_{P_i}(x,y)$ (步骤S24)。

[0218] 步骤S16~S24的处理被重复与预先决定的照明角度的数量(N)相应的次数( $1 \leq i \leq N$ )。

[0219] 接着,处理装置100计算试样S的表面形状。更具体地说,处理装置100将振幅相位分布 $U_{P_i}(x,y)$ 以保持复数形式进行累积,由此计算合成振幅相位分布 $U_{SA}(x,y)$ (步骤S26)。

[0220] 接下来,处理装置100根据试样面处的合成振幅相位分布 $U_{SA}(x,y)$ 的偏角来计算相位变化量 $\Delta\theta(x,y)$ (步骤S28)。而且,处理装置100使用相位变化量 $\Delta\theta(x,y)$ 来计算试样S的厚度 $\Delta d(x,y)$ (步骤S30)。试样S的厚度 $\Delta d$ 的计算使用上述的式(17)所示的关系式。

[0221] 最终,处理装置100集合试样面的各坐标处的厚度 $\Delta d(x,y)$ 来计算试样S的形状轮廓(步骤S32)。

[0222] 通过如以上那样的处理,能够计算出试样S的表面形状。

[0223] 此外,还能够测定试样S的折射率和折射率分布。在该情况下,在步骤S30中,计算试样S的折射率 $n_2(x,y)$ ,在步骤S32中,通过集合试样面的各坐标处的折射率 $n_2(x,y)$ 来计算试样S的折射率轮廓。

[0224] (b7:试样的内部构造的测定)

[0225] 接着,对使用根据实施方式1的光学测定系统1来测定试样S的内部构造的方法进行说明。在试样S的内部构造的测定中,优选的是,将近红外线用作照明光Q。通过将红外线用作照明光Q,利用照明光Q对试样S进行照明所得到的物体光全息图U示出试样S的内部构造。通过针对试样S在任意的位置(从记录面离开任意的距离的位置)设定试样面,能够测定试样S的内部构造。

[0226] 图8是示出使用根据实施方式1的光学测定系统1所进行的内部构造的测定方法的处理过程的流程图。图8所示的处理过程也可以将近红外光源用作光源10。

[0227] 图8的流程图所示的过程采用了对合成振幅相位分布 $U_{SA}(x,y)$ 的强度分布和/或相位分布进行图像化的处理(步骤S34)来代替图7所示的流程图所示的步骤S28~S32的处理。

[0228] 即,处理装置100通过将振幅相位分布 $U_{P_i}(x,y)$ 以保持复数形式进行累积来计算合成振幅相位分布 $U_{SA}(x,y)$ (步骤S26),对计算出的合成振幅相位分布 $U_{SA}(x,y)$ 进行图像化,由此使试样S的内部构造可视化。

[0229] <C.实施方式2:反射型光学系统>

[0230] (c1:光学系统)

[0231] 图9是示出根据实施方式2的光学测定系统2的结构例的示意图。在图9的(A)中示出记录同轴参考光的情况下的光学系统,在图9的(B)中示出记录物体光的情况下的光学系

统。光学测定系统2能够构成图9的(A)和图9的(B)所示的光学系统。

[0232] 图9的(A)所示的光学系统与在图1的(A)所示的根据实施方式1的光学测定系统1中记录同轴参考光的情况下的光学系统相同,因此不重复进行详细的说明。

[0233] 图9的(B)所示的光学系统相当于用于记录离轴全息图 $I_{OR}$ 的光学系统,所述离轴全息图 $I_{OR}$ 是利用离轴参考光R将利用照明光Q对试样S进行照明所得到的物体光O进行调制所得到的全息图。更具体地说,图9的(B)所示的光学系统基于利用照明光Q对试样S进行照明所得到的反射光来生成离轴全息图 $I_{OR}$ (物体光全息图:第一全息图)。此外,使用图9的(B)所示的光学系统还获取照明光轮廓。在该情况下,如后述的那样,配置基准参照面来代替试样S。

[0234] 图9的(B)所示的光学系统是与在图1的(B)所示的根据实施方式1的光学测定系统1中记录物体光的情况下的光学系统相比利用照明光Q对试样S进行照明的结构不同的光学系统。因此,关于从分束器BS1的另一方输出的离轴参考光R,经由与图1的(A)、图1的(B)以及图9的(A)共同的光学路径被引导到图像传感器D。

[0235] 使用从分束器BS1的一方输出的光来作为用于对试样S进行照明的照明光Q。

[0236] 更具体地说,通过分束器BS2分支后的照明光Q在被镜M2反射后通过测定用光学系统32,并被引导到分束器BS2。照明光Q还被分束器BS2的半透半反镜HM2反射并对试样S进行照明。利用照明光Q对试样S进行照明所得到的物体光O(即,被试样S反射后的光)透过分束器BS2的半透半反镜HM2,并被引导到图像传感器D。

[0237] 测定用光学系统32包括可动镜MM、透镜L3、掩模A2、透镜L4。与实施方式1同样地,被可动镜MM反射后的照明光Q通过透镜L3被聚光,并通过掩模A2。通过掩模A2后的照明光Q进一步通过透镜L4被聚光,并在试样S成像。即,掩模A2的开口图案SP2的像通过透镜L4在试样S成像。由此,能够限制通过掩模A2后的照明光Q对试样S进行照明的范围。通过限制照明光Q的照明范围,能够削减不希望的光来提高测定精度。另外,通过可动镜MM进行旋转,来改变照明光Q进行照明的方式。

[0238] 在光学测定系统1中,照明范围也有时根据试样S的厚度而变动,因此在像这样变动的情况下,根据需要来变更掩模A2的开口图案SP2、或者变更用于将照明光Q在试样S成像的透镜L2的位置等。

[0239] 此外,在镜M2与掩模A2配置为在光学上靠近的情况下,可以省略透镜L3。

[0240] (c2:照明光轮廓)

[0241] 接着,对光学测定系统2中的照明光轮廓进行说明。在光学测定系统2采用的反射型光学系统中,在应该配置试样S的位置(试样位置)配置基准参照面,使用来自该基准参照面的反射光来作为照明光Q。基准参照面优选为平面,例如能够使用光学平面。即,图9(B)所示的光学系统基于利用照明光Q对作为试样S的替代的基准参照面进行照明所得到的反射光来获取照明光轮廓。

[0242] 通过使所记录的照明光Q进行传播,能够计算距离不同的试样面处的照明光分布 $Q_s$ ,因此与实施方式1(透过型光学系统)同样地,无需每当相距记录面的距离变化就记录照明光Q。另外,在由于干扰而照明光的点光源的坐标产生了位置偏移的情况下,可以通过图像传感器D上的像素的平行移动来对照明光Q进行校正。

[0243] 为了去除基准参照面中包括的形状误差,在使基准参照面在x方向和y方向上平行

移动的同时记录多个照明光轮廓,将所记录的多个照明轮廓的平均值设为实际使用的照明光轮廓。

[0244] (c3:试样的表面形状的测定)

[0245] 接着,对使用根据实施方式2的光学测定系统2来测定试样S的表面形状的方法进行说明。在试样S的表面形状的测定中,使用由于试样S产生的相位变化量。在该情况下,优选将可见光用作照明光Q。

[0246] 由于试样S产生的相位变化量 $\Delta\theta$ 与试样S的高度 $\Delta h$ 的关系如以下的式(22)那样。

[0247] [数14]

$$[0248] \quad A\theta = 2k_z \Delta h + \delta \quad \cdots (22)$$

[0249] 式中的 $k_x$ 为x方向的波数, $k_y$ 为y方向的波数, $\delta$ 为相位校正项。

[0250] 波数 $k_x$ 和波数 $k_y$ 能够根据上述的式(20)及式(21)进行计算。在由于试样S全部为相同的材质等理由而能够视为由复数反射率引起的相位变化在整个试样S中相同的情况下,也可以省略相位校正项 $\delta$ 。

[0251] 此外,在测定试样面的整体形状(面内分布)的情况下,可以采用将照明光Q设为平行光的光学系统。在照明光Q为球面波的情况下,能够将相对于试样面的焦点偏移检测为凹面状或凸面状的伪形状。这样的伪形状是由于照明光为球面波而产生的,因此在测定试样面的整体形状(面内分布)的情况下,优选采用照明光Q为平行光这样的光学系统。

[0252] 图10是示出使用根据实施方式2的光学测定系统2所进行的表面形状的测定方法的处理过程的流程图。图10所示的处理过程也可以将可见光源用作光源10。

[0253] 参照图10,首先,执行获取同轴参考光L的处理。更具体地说,构成图9的(A)所示的光学系统(步骤S52)。然后,从光源10产生相干光,处理装置100获取利用离轴参考光R将图像传感器D中记录的同轴参考光L进行调制而得到的离轴全息图 $I_{LR}$ (步骤S54)。此外,关于步骤S52和S54,只要不变更与离轴参考光R有关的光学系统,则仅执行一次即可。另外,步骤S2和S4的处理用于提高再生像的准确性,可以根据所要求的准确性来省略步骤S2和S4的处理。

[0254] 接着,执行获取照明光轮廓的处理。更具体地说,构成图9的(B)所示的光学系统(步骤S56)。此时,不配置试样S,在用于配置试样S的位置(试样位置)配置基准参照面。该状态相当于测定的参考。

[0255] 接下来,驱动可动镜MM来设定为多个照明角度中的某个照明角度(步骤S58)。而且,使光源10产生相干光,处理装置100获取图像传感器D中记录的照明光全息图 $Q_i(x,y)$ (第二全息图)(步骤S60)。

[0256] 处理装置100根据照明光全息图 $Q_i(x,y)$ 来计算照明光轮廓 $Q_{\Sigma i}(x,y)$ (步骤S62)。

[0257] 步骤S58~S62的处理被重复与预先决定的照明角度的数量(N)相应的次数( $1 \leq i \leq N$ )。

[0258] 接着,执行获取试样S的振幅相位分布的处理。更具体地说,将试样S配置于图9的(B)所示的光学系统的本来的位置(步骤S64)。接下来,驱动可动镜MM来设定为多个照明角度中的某个照明角度(步骤S66)。然后,使光源10产生相干光,处理装置100获取图像传感器D中记录的物体光全息图 $U_i(x,y)$ (步骤S68)。

[0259] 接下来,处理装置100根据物体光全息图 $U_i(x,y)$ 来计算再生用物体光全息图 $U_{\Sigma i}$

( $x, y$ ) (步骤S70)。而且,处理装置100通过平面波展开使再生用物体光全息图 $U_{\Sigma_i}(x, y)$ 和对应的照明光轮廓 $Q_{\Sigma_i}(x, y)$ 传播到试样面的位置,来计算试样面处的物体光分布 $U_{S_i}(x, y)$ 和照明光分布 $Q_{S_i}(x, y)$  (步骤S72)。并且,处理装置100将物体光分布 $U_{S_i}(x, y)$ 除以对应的照明光分布 $Q_{S_i}(x, y)$ ,来计算试样面处的振幅相位分布 $U_{P_i}(x, y)$  (步骤S74)。

[0260] 步骤S66 ~ S74的处理被重复与预先决定的照明角度的数量( $N$ )相应的次数( $1 \leq i \leq N$ )。

[0261] 接着,处理装置100计算试样S的表面形状。更具体地说,处理装置100将振幅相位分布 $U_{P_i}(x, y)$ 以保持复数形式进行累积,由此计算合成振幅相位分布 $U_{SA}(x, y)$  (步骤S76)。

[0262] 接下来,处理装置100根据试样面处的合成振幅相位分布 $U_{SA}(x, y)$ 的偏角来计算相位变化量 $\Delta\theta(x, y)$  (步骤S78)。而且,处理装置100使用相位变化量 $\Delta\theta(x, y)$ 来计算试样S的高度 $h(x, y)$  (步骤S80)。试样S的高度 $h$ 的计算使用上述的式(22)所示的关系式。

[0263] 最终,处理装置100集合试样面的各坐标处的厚度 $\Delta d(x, y)$ 来计算试样S的形状轮廓(步骤S82)。

[0264] 通过如以上那样的处理,能够计算出试样S的表面形状。

[0265] (c4: 试样的内部构造的测定)

[0266] 在试样S的内部构造的测定中,优选的是,将近红外线用作照明光Q。通过将近红外线用作照明光Q,利用照明光Q对试样S进行照明所得到的物体光全息图U示出试样S的内部构造。通过针对试样S在任意的位置(从记录面离开任意的距离的位置)设定试样面,能够测定试样S的内部构造。

[0267] 图11是示出使用根据实施方式2的光学测定系统2所进行的内部构造的测定方法的处理过程的流程图。图11所示的处理过程也可以将近红外光源用作光源10。

[0268] 图11的流程图所示的过程采用了对合成振幅相位分布 $U_{SA}(x, y)$ 的强度分布和/或相位分布进行图像化的处理(步骤S84)来代替图10所示的流程图所示的步骤S78 ~ S82的处理。

[0269] 即,处理装置100通过将振幅相位分布 $U_{P_i}(x, y)$ 以保持复数形式进行累积来计算合成振幅相位分布 $U_{SA}(x, y)$  (步骤S76),对计算出的合成振幅相位分布 $U_{SA}(x, y)$ 进行图像化,由此使试样S的内部构造可视化。

[0270] <D. 处理装置100>

[0271] (d1: 硬件结构例)

[0272] 图12是示出根据本实施方式的光学测定系统中包括的处理装置100的硬件结构例的示意图。参照图12,处理装置100包括处理器102、主存储器104、输入部106、显示部108、存储装置110、接口120、网络接口122以及媒体驱动器124来作为主要的硬件要素。

[0273] 处理器102代表性地为CPU(Central Processing Unit:中央处理单元)、GPU(Graphics Processing Unit:图形处理单元)等运算处理部,将存储装置110中保存的一个或多个程序读出到主存储器104中来执行。主存储器104是DRAM(Dynamic Random Access Memory:动态随机存取存储器)或SRAM(Static Random Access Memory:静态随机存取存储器)之类的易失性存储器,处理器102作为用于执行程序的工作存储器发挥功能。

[0274] 输入部106包括键盘、鼠标等,接受来自用户的操作。显示部108将处理器102执行程序的执行结果等输出到用户。

[0275] 存储装置110包括硬盘、闪存等非易失性存储器,保存各种程序、数据。更具体地说,存储装置110保持操作系统112(OS:Operating System)、测定程序114、全息图数据116以及测定结果118。

[0276] 操作系统112提供处理器10执行程序的环境。通过处理器102执行测定程序114,来实现根据本实施方式的光学测定方法等。全息图数据116相当于从图像传感器D输出的图像数据。测定结果118包括通过执行测定程序114而得到的测定结果。

[0277] 接口120在处理装置100与图像传感器D之间中继数据传输。网络接口122在处理装置100与外部的服务器装置之间中继数据传输。

[0278] 媒体驱动器124从保存有由处理器102执行的程序等的记录介质126(例如,光盘等)读出所需的数据,并保存于存储装置110。此外,在处理装置100中执行的测定程序114等可以经由记录介质126等进行安装,也可以经由网络接口122等从服务器装置进行下载。

[0279] 测定程序114也可以按规定的序列在规定的时机从作为操作系统112的一部分被提供的程序模块中调用所需的模块来执行处理。在这样的情况下,不包括该模块的测定程序114也包括在本发明的技术范围中。测定程序114可以编入到其它程序的一部分中来提供。

[0280] 此外,可以通过硬线逻辑电路(例如,FPGA(Field-Programmable Gate Array:现场可编程门阵列)、ASIC(Application Specific Integrated Circuit:专用集成电路)等)来实现通过处理装置100的处理器102执行程序而提供的功能的全部或一部分。

[0281] 关于处理装置100的硬件结构例,在其它实施方式中也是同样的,因此不重复进行详细的说明。

[0282] (d2:功能结构例)

[0283] 图13是示出根据本实施方式的光学测定系统所包括的处理装置100的功能结构例的示意图。图13所示的各功能要素代表性地通过由处理装置100的处理器102执行测定程序114来实现。此外,实现图13所示的功能结构的硬件根据各时代来选择适当的硬件。

[0284] 参照图13,处理装置100包括离轴全息图获取模块150、照明光全息图获取模块152、物体光全息图获取模块154、全息图再生模块156、振幅相位分布计算模块158、累积模块160、物体光相位计算模块162、物体形状计算模块164、图像化模块166以及照明角度控制模块168来作为主要的功能要素。

[0285] 在构成了记录同轴参考光的情况下的光学系统的状态下,离轴全息图获取模块150将图像传感器D中记录的全息图记录为离轴全息图 $I_{LR}$ 。

[0286] 在构成了记录物体光的情况下的光学系统的状态下,照明光全息图获取模块152获取图像传感器D中记录的照明光全息图 $Q_i(x,y)$ 。

[0287] 在构成了记录物体光的情况下的光学系统的状态下,物体光全息图获取模块154获取图像传感器D中记录的物体光全息图 $U_i(x,y)$ 。

[0288] 照明光全息图获取模块152和物体光全息图获取模块154均构成为能够记录图像传感器D的检测信号,根据手动或自动地设定的状态信号使某一方有效化。

[0289] 全息图再生模块156根据由照明光全息图获取模块152获取到的照明光全息图 $Q_i(x,y)$ 来计算再生用照明光全息图(照明光轮廓 $Q_{\Sigma i}(x,y)$ ),并且根据由物体光全息图获取模块154获取到的物体光全息图 $U_i(x,y)$ 来计算再生用物体光全息图 $U_{\Sigma i}(x,y)$ 。

[0290] 全息图再生模块156通过平面波展开使照明光轮廓 $Q_{\Sigma_i}(x, y)$ 和再生用物体光全息图 $U_{\Sigma_i}(x, y)$ 传播到试样面的位置,并计算试样面处的照明光分布 $Q_{S_i}(x, y)$ 和物体光分布 $U_{S_i}(x, y)$ 。

[0291] 振幅相位分布计算模块158将物体光分布 $U_{S_i}(x, y)$ 除以对应的照明光分布 $Q_{S_i}(x, y)$ ,来计算试样面处的振幅相位分布 $U_{P_i}(x, y)$ 。

[0292] 累积模块160将振幅相位分布 $U_{P_i}$ 以保持复数形式进行累积,由此计算合成振幅相位分布 $U_{SA}$ 。

[0293] 物体光相位计算模块162根据合成振幅相位分布 $U_{SA}(x, y)$ 的偏角来计算相位变化量 $\Delta\theta(x, y)$ 。

[0294] 物体形状计算模块164使用相位变化量 $\Delta\theta(x, y)$ 来计算用于确定试样S的表面形状的信息(厚度、折射率等)。物体形状计算模块164将计算结果作为试样S的形状信息输出。

[0295] 图像化模块166对合成振幅相位分布 $U_{SA}(x, y)$ 的强度分布和/或相位分布进行图像化。

[0296] 照明角度控制模块168按照设定来决定可动镜MM应该实现的照明角度的种类和数量。照明角度控制模块168与全息图再生模块156等协作地驱动可动镜MM,以使得能够实现目标的照明角度。

[0297] (d3:用户接口)

[0298] 接着,对与根据本实施方式的光学测定系统所实现的照明角度的设定有关的用户接口的一例进行说明。

[0299] 图14是示出在根据本实施方式的光学测定系统中提供的用户接口画面的一例的示意图。代表性地,图14所示的用户接口画面170显示在处理装置100的显示部108上。即,处理装置100提供用户接口画面170,该用户接口画面170用于受理对利用照明光Q(第一光)进行照明的方式的数量的设定。

[0300] 用户接口画面170包括输入照明角度的数量的输入栏172、示出SN比的提高程度的显示栏174、以及示出测定所需的时间的显示栏176。

[0301] 在输入栏172,受理对要改变的照明角度的数量(上述的*i*种)的设定。处理装置100基于所设定的照明角度的数量来计算SN比的提高程度并显示于显示栏174,并且,计算测定所需的时间并显示于显示栏176。

[0302] 用户考虑显示于用户接口画面170的测定结果的质量(SN比)和容许的节拍时间等,来设定照明角度的数量。此外,也可以是,当输入了要求的质量和容许的节拍时间等时,给出适当的照明角度的数量的建议。

[0303] 也可以是,借助如图14所示的用户接口画面170来设定照明角度的数量。

[0304] <E. 测定例>

[0305] 接着,示出根据本实施方式的光学测定系统的测定例。

[0306] 图15是示出根据本实施方式的光学测定系统对表面形状的测定例的图。在图15中示出使用采用图9所示的反射型光学系统的光学测定系统2记录的USAF 1951测试目标表面(试样面)的振幅相位分布的例。作为光源10,使用了在532nm具有峰波长的可见光源。

[0307] 在图15的(A)和图15的(C)中示出振幅相位分布的强度分布,在图15的(B)和图15的(D)中示出振幅相位分布的相位分布。

[0308] 在图15的(A)和图15的(B)中示出使照明光的照明角度单一而记录的振幅相位分布 $U_{p_i}$ 。另一方面,在图15的(C)和图15的(D)中示出使照明光的照明角度进行500种改变而记录的振幅相位分布(合成振幅相位分布 $U_{SA}$ )。即,在图15的(C)和图15的(D)中,示出如上所述的通过将振幅相位分布 $U_{p_i}$  ( $i=500$ )以保持复数形式进行累积而计算出的合成振幅相位分布 $U_{SA}$ 的例子。

[0309] 在图15的(A)和图15的(B)所示的测定例中,可知所再生的像受到照明光所包含的衍射光的影响而劣化了。特别是,在图15的(B)的相位分布中,测试目标所包括的图案的形状不清楚。

[0310] 与此相对地,通过将多个振幅相位分布 $U_{p_i}$ 以保持复数形式进行累积,能够抑制照明光所包含的衍射光的影响,可知不仅图案的形状、连附着于测试目标表面的污垢都包括在内清楚地可视化了。

[0311] 图16是示出根据本实施方式的光学测定系统对内部构造状的测定例的图。在图16中示出使用采用图1所示的反射型光学系统的光学测定系统1记录的被设定为距硅晶圆表面 $600\mu\text{m}$ 的试样面的振幅相位分布的例子。作为光源10,使用了在 $1030\text{nm}$ 具有峰波长的近红外光源。此外,在试样面存在内部裂纹。

[0312] 在图16的(A)中示出使照明光的照明角度单一而记录的振幅相位分布 $U_{p_i}$ 的相位分布。另一方面,在图16的(B)中示出使照明光的照明角度进行了32种改变而记录的振幅相位分布(合成振幅相位分布 $U_{SA}$ )的相位分布。即,在图16的(B)中,示出如上所述的通过将振幅相位分布 $U_{p_i}$  ( $i=32$ )以保持复数形式进行累积而计算出的合成振幅相位分布 $U_{SA}$ 的例子。

[0313] 在图16的(A)所示的测定例中,可知所再生的像受到照明光所包含的衍射光的光谱噪声的影响而劣化了。与此相对地,如图16的(B)所示,通过将多个振幅相位分布 $U_{p_i}$ 以保持复数形式进行累积,能够抑制照明光所包含的衍射光的光谱噪声的影响,可知不仅裂纹的存在清楚地可视化了,而且裂纹的形状也清楚地可视化了。

[0314] 如图15和图16所示,通过将多个振幅相位分布 $U_{p_i}$ 以保持复数形式进行累积来计算合成振幅相位分布 $U_{SA}$ ,能够减少噪声来提高再生的像的质量。

[0315] <F. 复合结构>

[0316] 在设想硅晶圆作为试样S的情况下,为了测定表面形状和内部构造这两方,能够采用将反射型的光学测定系统2(参照图9的(B))与透过型的光学测定系统1(参照图1的(B))组合而成的复合结构。

[0317] 图17是示出根据本实施方式的光学测定系统的复合结构的一例的示意图。参照图17,根据本实施方式的光学测定系统能够在第一结构(参照图17的(B))与第二结构(参照图17的(A))之间变更,该第一结构是基于利用照明光Q对试样S进行照明所得到的透过光来生成物体光全息图(第一全息图)的结构,该第二结构是基于利用照明光Q对试样S进行照明所得到的反射光来生成物体光全息图(第一全息图)的结构。

[0318] 参照图17的(A),可见光不透过硅晶圆,因此在反射型的光学测定系统2中将可见光源用作光源10来测定表面形状。即,处理装置100基于将产生可见光的可见光源与图17的(A)进行了组合时记录的物体光全息图来测定试样S的表面形状。

[0319] 参照图17的(B),近红外线透过硅晶圆,因此在透过型的光学测定系统1中将近红外光源用作光源10来测定内部构造。即,处理装置100基于将产生近红外线的近红外光源与

图17的(B)进行了组合时记录的物体光全息图来测定试样S的内部构造。

[0320] 如图17所示,能够使用反射型的光学测定系统2和透过型的光学测定系统1来测定硅晶圆的表面形状和内部构造。

[0321] <G.其它实施方式>

[0322] 如上所述,获取离轴全息图 $I_{LR}$ 的处理(图7和图8的步骤S2和S4的处理以及图10和图11的步骤S52和S54的处理)用于提高再生像的准确性,在不要求相对高的准确性的情况下,也可以省略。

[0323] 在不获取离轴全息图 $I_{LR}$ 的情况下,不进行根据上述的式(8)的计算处理,将式(7)所示的复振幅离轴全息图 $J_{OR}$ 直接设为物体光全息图 $U(x,y)$ 即可。

[0324] 或者,可以将式(7)所示的复振幅离轴全息图 $J_{OR}$ 在去除离轴参考光R的成分( $=R_0 \exp(i\phi_R)$ )的情况下设为物体光全息图 $U(x,y)$ 。在去除离轴参考光R的情况下,将式(7)所示的复振幅离轴全息图 $J_{OR}$ 除以离轴参考光R的复数共轭即可。关于离轴参考光R的分布,通过基于离轴参考光R的点光源的物理配置根据球面波的解析解进行计算等方法来求出。

[0325] 此外,在不获取离轴全息图 $I_{LR}$ 的情况下,除了不使用上述的式(8)以外,还不使用式(4)、式(6)、式(9)。

[0326] <H.变形例>

[0327] 上述的光学系统是一例,能够根据所要求的规格、空间等限制在光学上进行任意等价的变更。例如,可以将单一的透镜变更为透镜组,能够使用任意的反射构件来代替镜。

[0328] 另外,在上述的说明中,关于处理装置100执行试样S的表面形状和/或内部构造的测定所涉及的运算处理的实施例进行了例示,但并不限于此,能够采用任意的实施方式。例如,处理装置100所负责的处理的一部分或全部可以使用云上的计算资源。

[0329] 另外,在上述的说明中,主要说明了测定硅晶圆等试样S的情况,但是作为测定对象的试样S不会被限定。即,对于要求提高SN比的对任意的试样S的测定,能够应用如上所述的、通过将振幅相位分布 $U_{P1}$ 以保持复数形式进行累积来计算合成振幅相位分布 $U_{SA}$ 的处理。

[0330] <I.总结>

[0331] 根据本实施方式的光学测定系统根据试样的种类和测定目的来从近红外线和可见光中选择对试样进行照明的光。此外,通过采用硅基的图像传感器D,除了可见光以外,对近红外线也具有光接收灵敏度,因此不需要更换等。通过采用这样的光源和图像传感器的组合,能够测定硅晶圆等试样的表面形状和内部构造。

[0332] 根据本实施方式的光学测定系统使用物体光的相位信息来测定试样的表面形状和内部构造,因此深度分辨率(z轴上的分辨率)不会受焦点深度限制,能够以nm级测定试样。此时,通过考虑到介质的折射率的衍射计算,能够以高分辨率观察试样的内部构造。其结果,也能够检测试样内的nm级的缺陷。

[0333] 根据本实施方式的光学测定系统能够基于通过数字全息所得到的光波分布来再生处于任意的距离的像,因此不需要垂直扫描机构等。

[0334] 根据本实施方式的光学测定系统将针对利用照明光进行照明的每个方式(照明角度)计算出的振幅相位分布以保持复数形式进行累积,来计算合成振幅相位分布。通过使利用照明光进行照明的方式(照明角度)不同并将振幅相位分布以保持复数形式进行累积,能够减少噪声来提高SN比。

[0335] 在根据本实施方式的光学测定装置中,通过将利用照明光对试样进行照明的范围限制在规定范围,能够避免包含物体光的信息的成分与光强度成分及共轭光成分之间在傅立叶空间(空间频率区域)中重叠。其结果是,能够抑制由于成分间的重叠引起的噪声,从而能够实现更高精度的测定。

[0336] 应当认为,本次公开的实施方式在所有方面均为例示,而非限制性的。本发明的范围并不由上述的说明示出,而是由权利要求书示出,能够包括与权利要求书同等的含义和范围内的全部变更。

[0337] 附图标记说明

[0338] 1、2:光学测定系统;10:光源;20:成像光学系统;30、32:测定用光学系统;100:处理装置;102:处理器;104:主存储器;106:输入部;108:显示部;110:存储装置;112:操作系统;114:测定程序;116:全息图数据;118:测定结果;120:接口;122:网络接口;124:媒体驱动器;126:记录介质;150:离轴全息图获取模块;152:照明光全息图获取模块;154:物体光全息图获取模块;156:全息图再生模块;158:振幅相位分布计算模块;160:累积模块;162:物体光相位计算模块;164:物体形状计算模块;166:图像化模块;168:照明角度控制模块;170:用户接口画面;172:输入栏;174、176:显示栏;A1、A2:掩模;BE:扩束器;BS1、BS2:分束器;D:图像传感器;L:同轴参考光;L1、L2、L3、L4、L21、L22、L31、L32:透镜;M1:镜;M0:物镜;P:针孔;S:试样;SP1、SP2:开口图案。

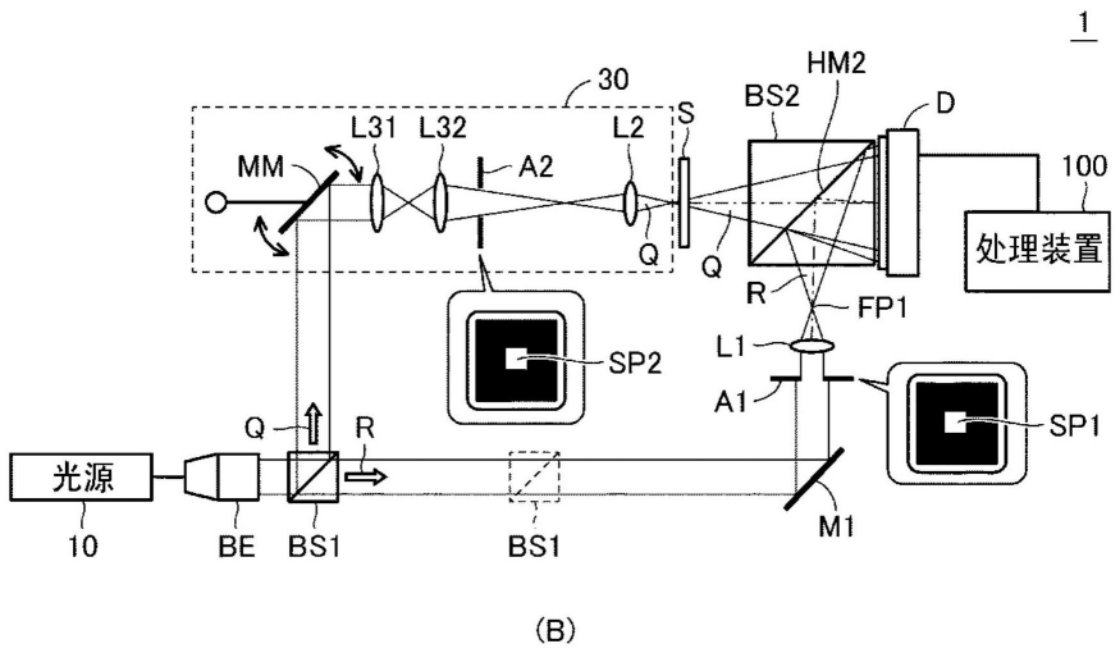
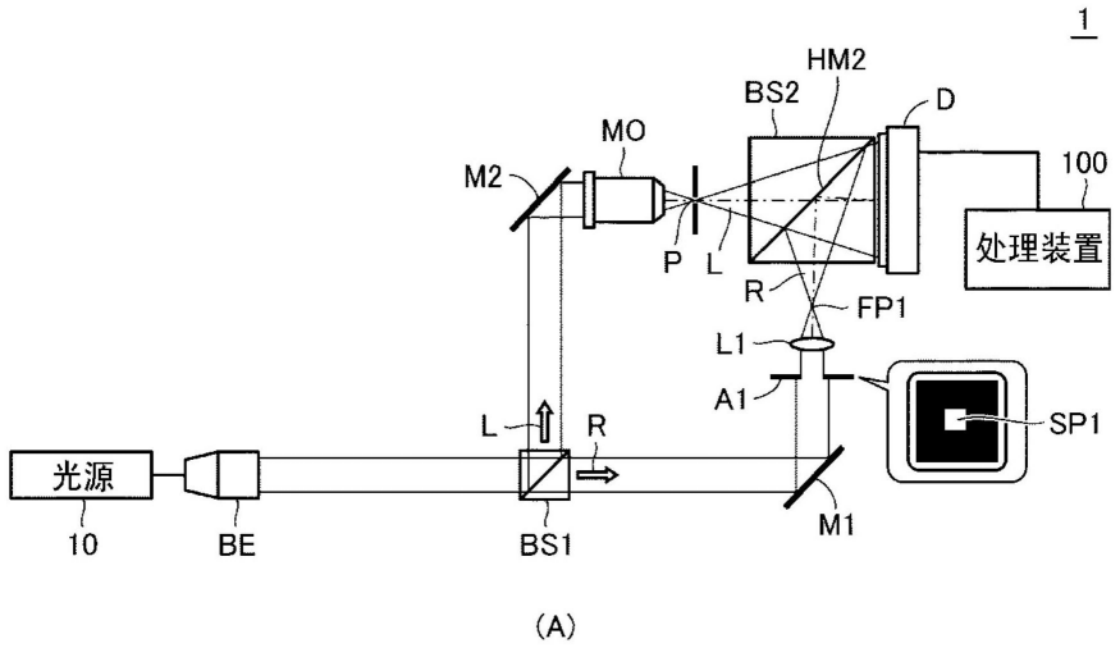
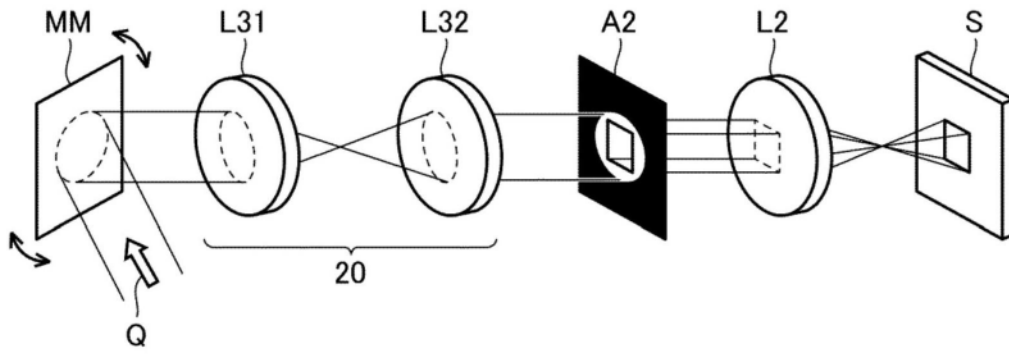


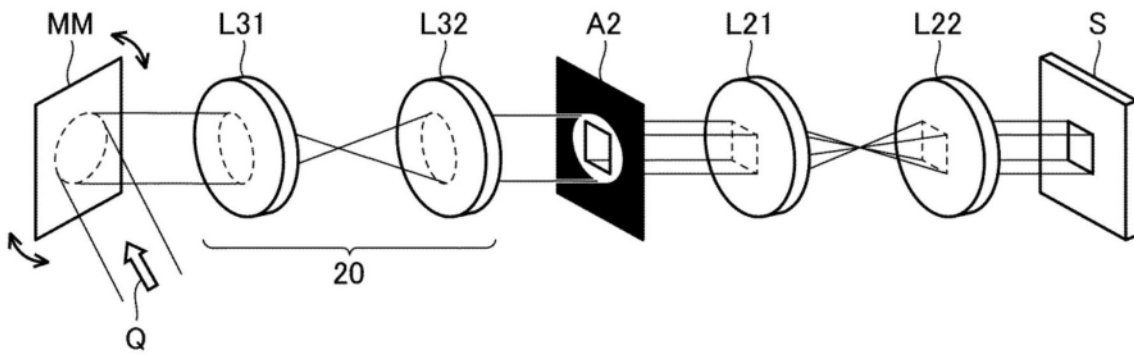
图1

30



(A)

30



(B)

图2

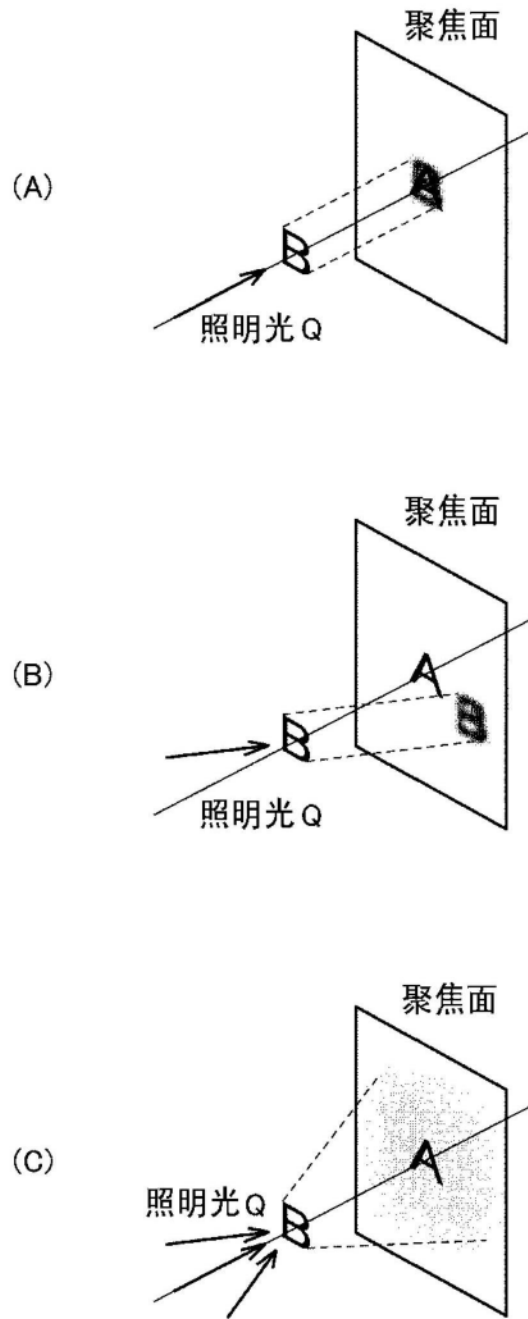


图3

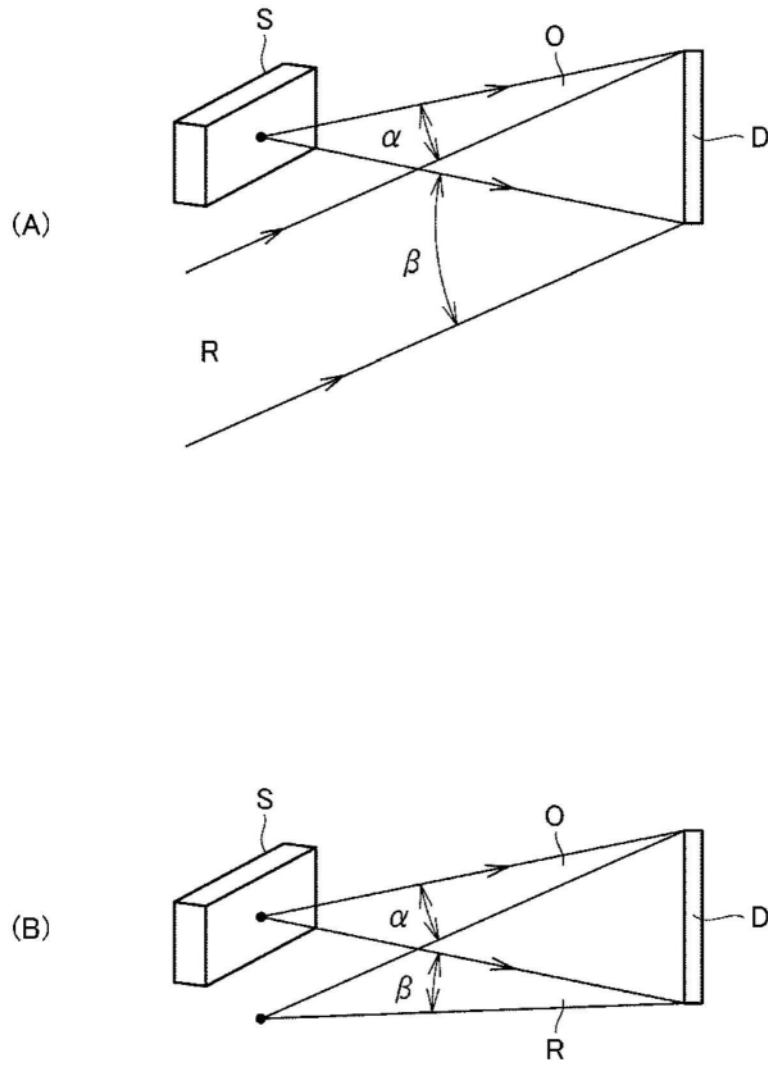


图4



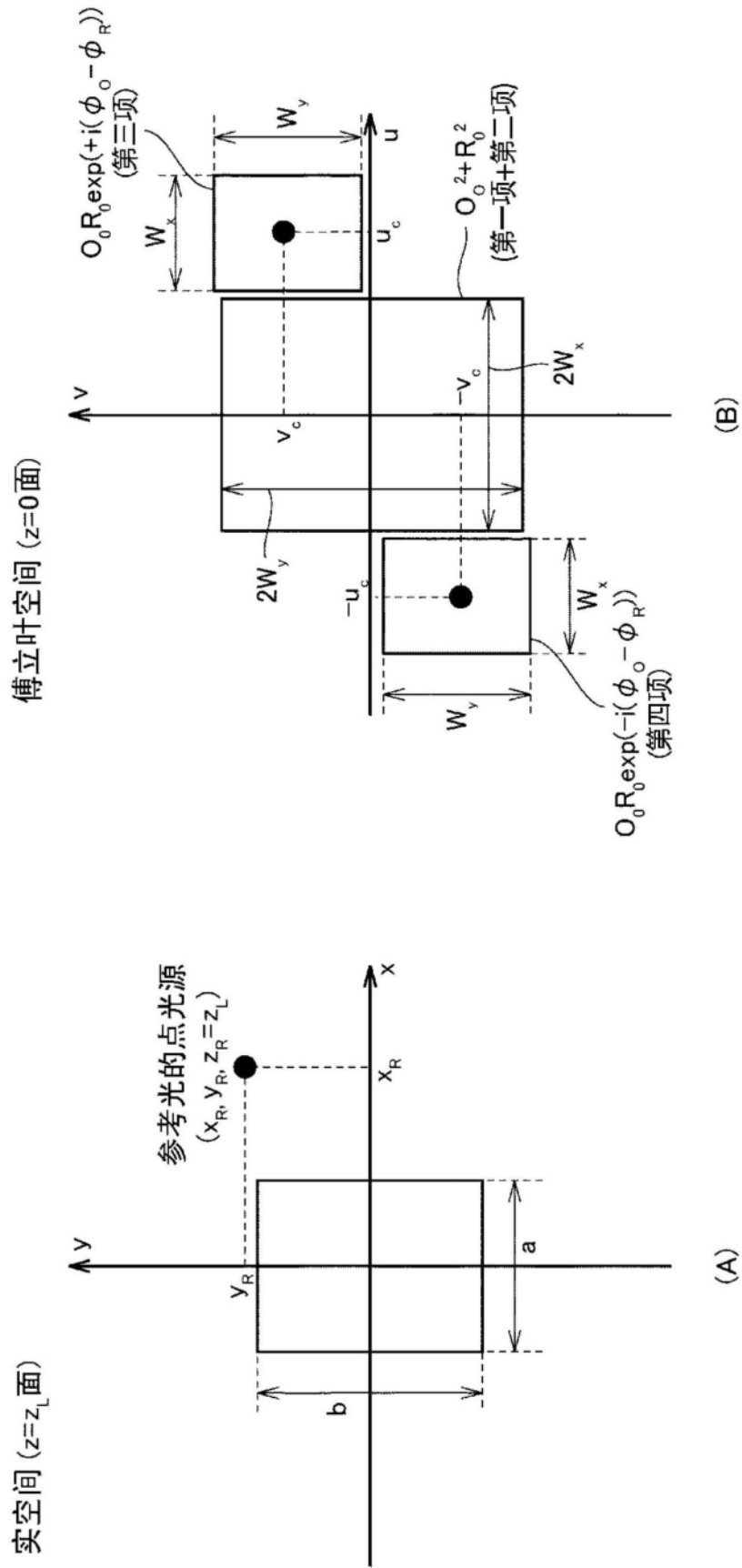


图6



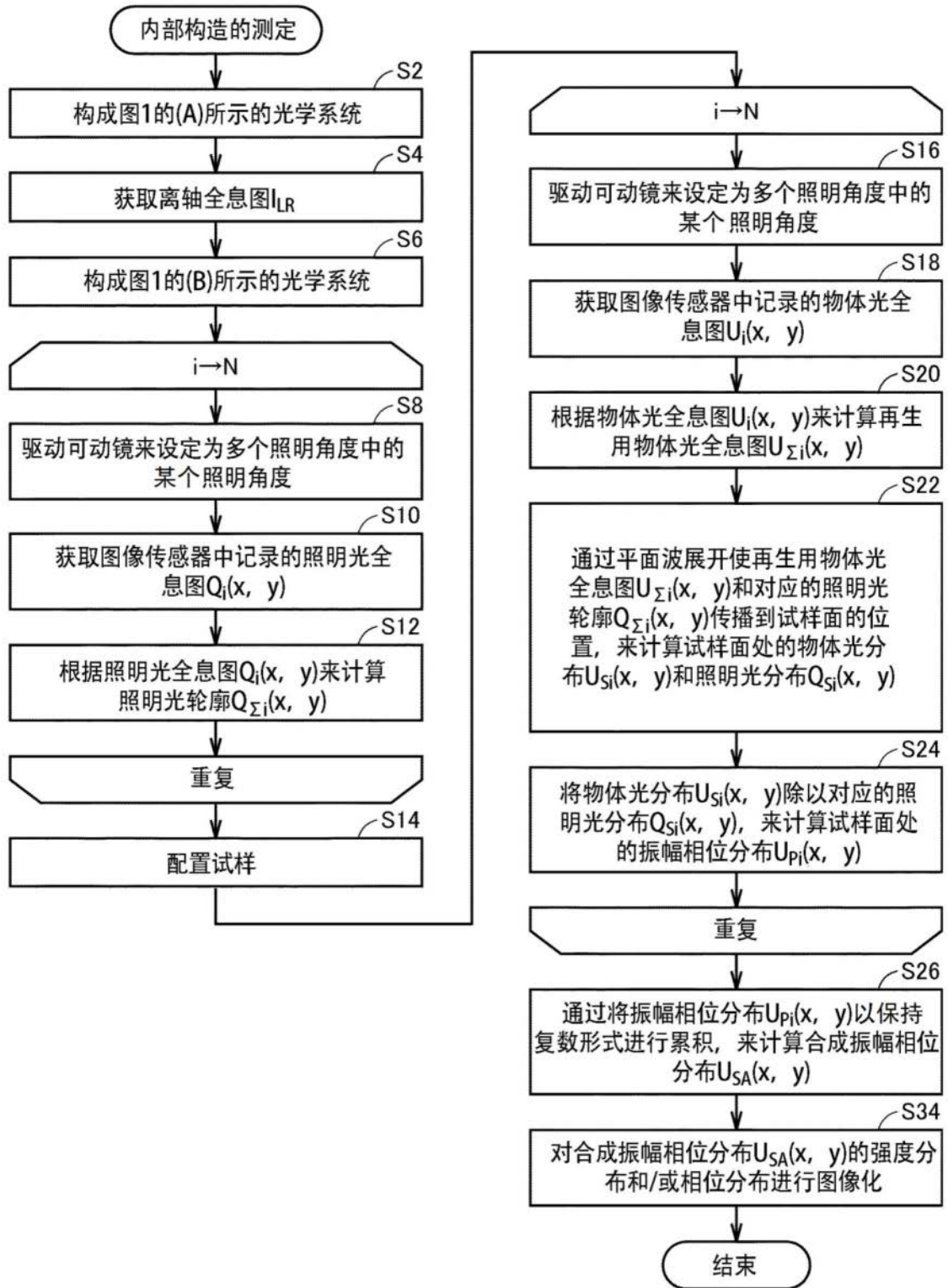


图8

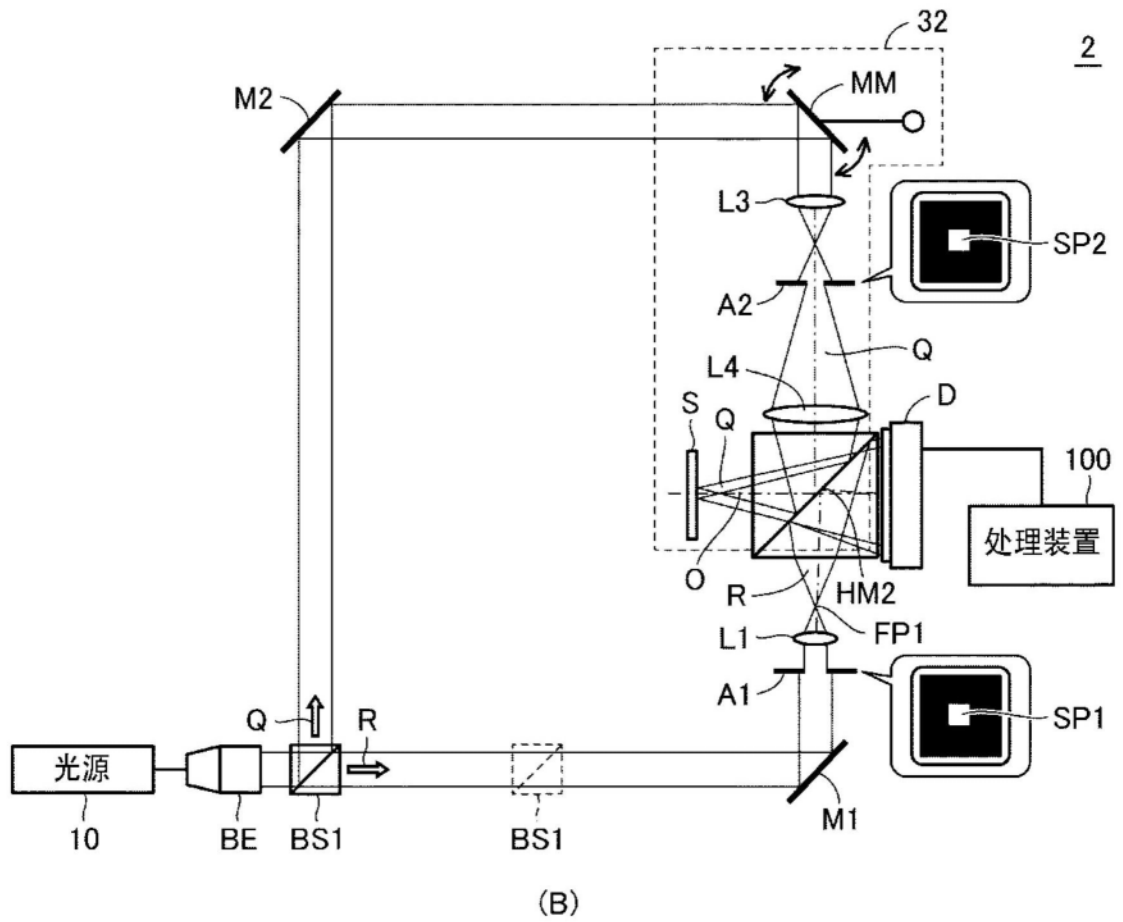
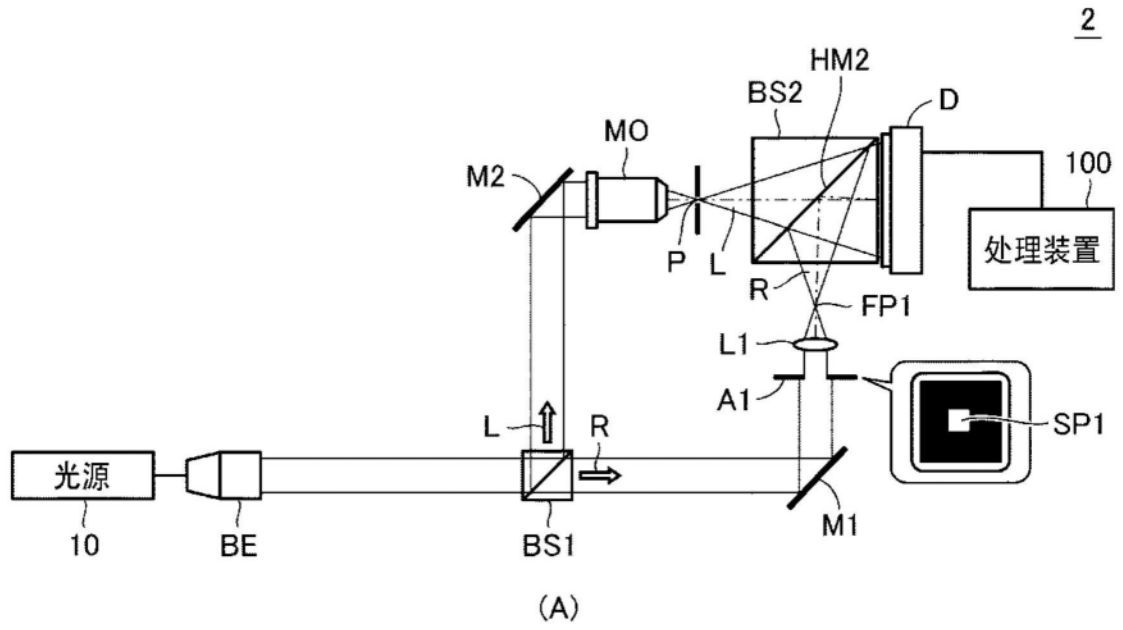


图9

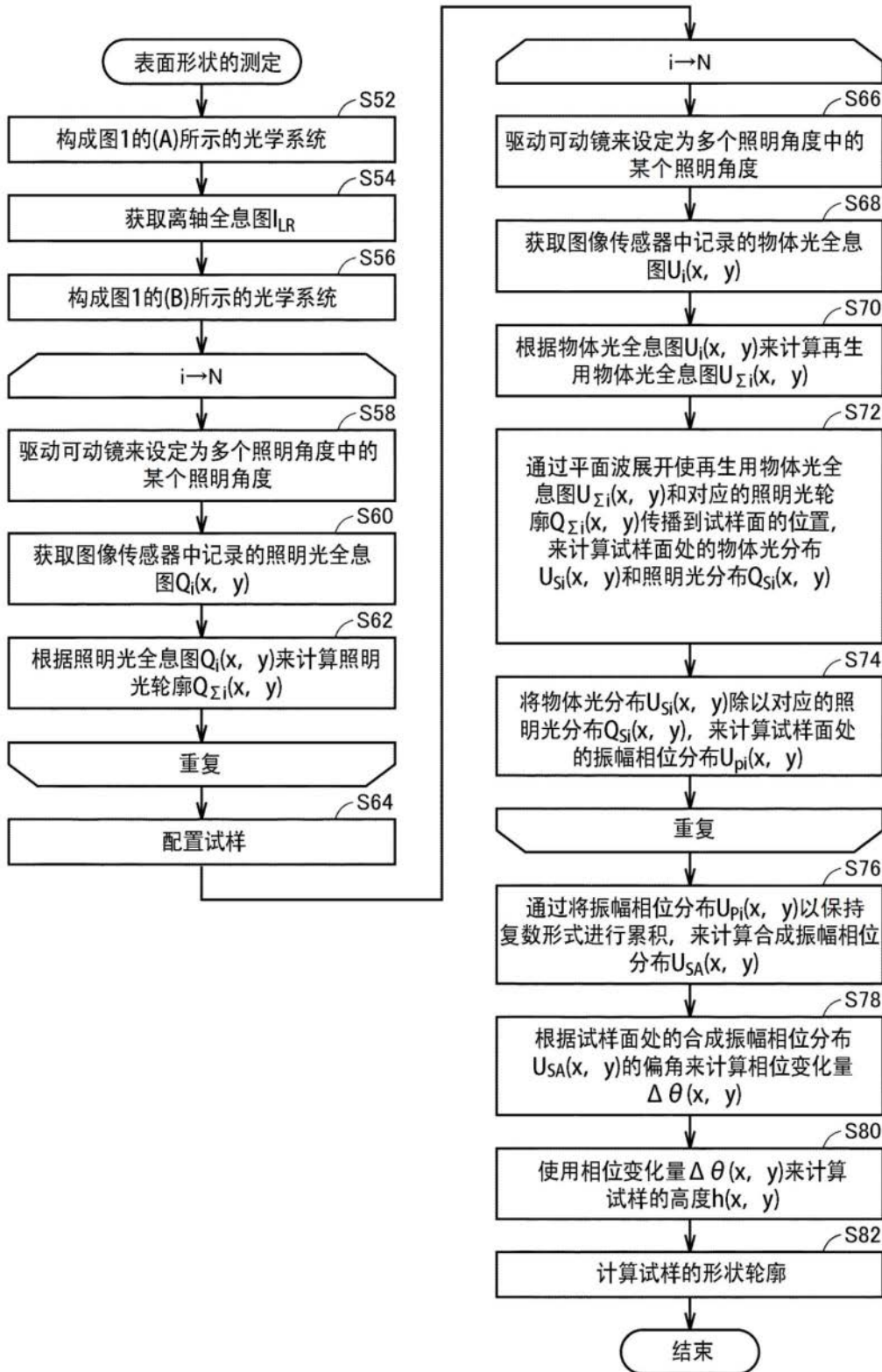


图10



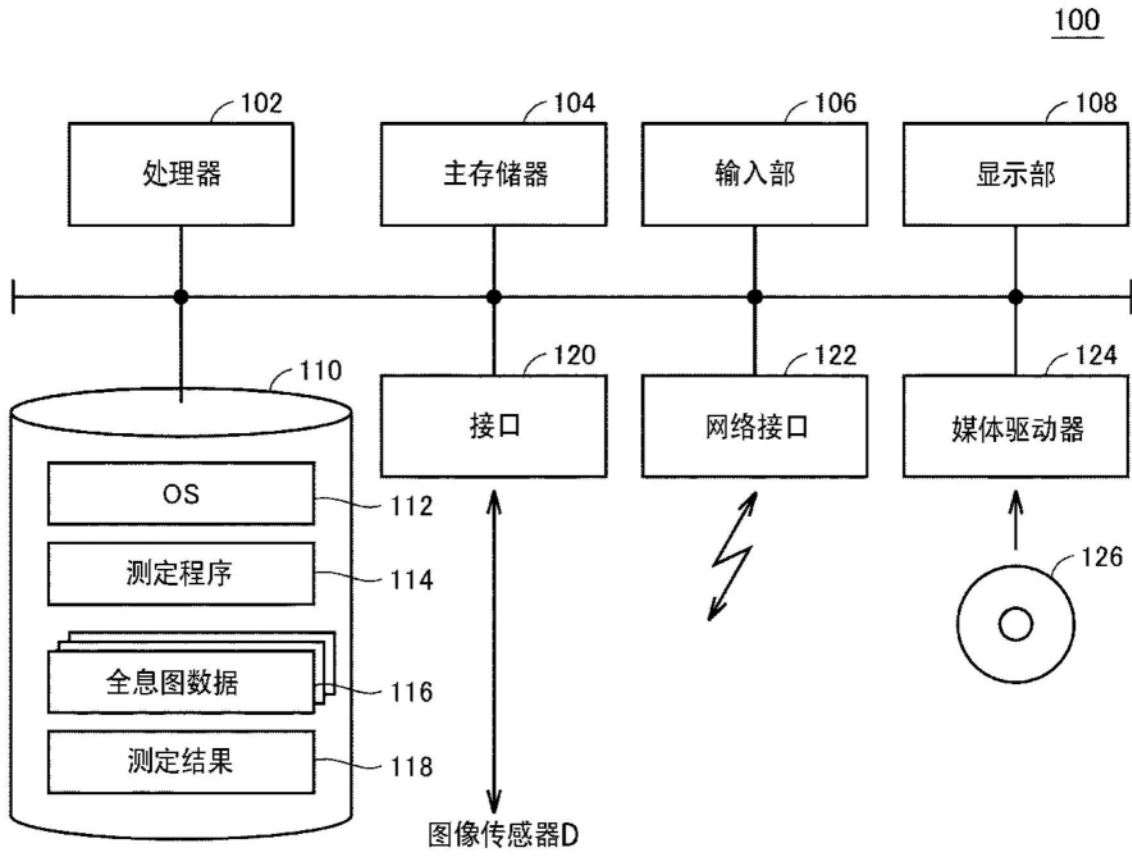


图12

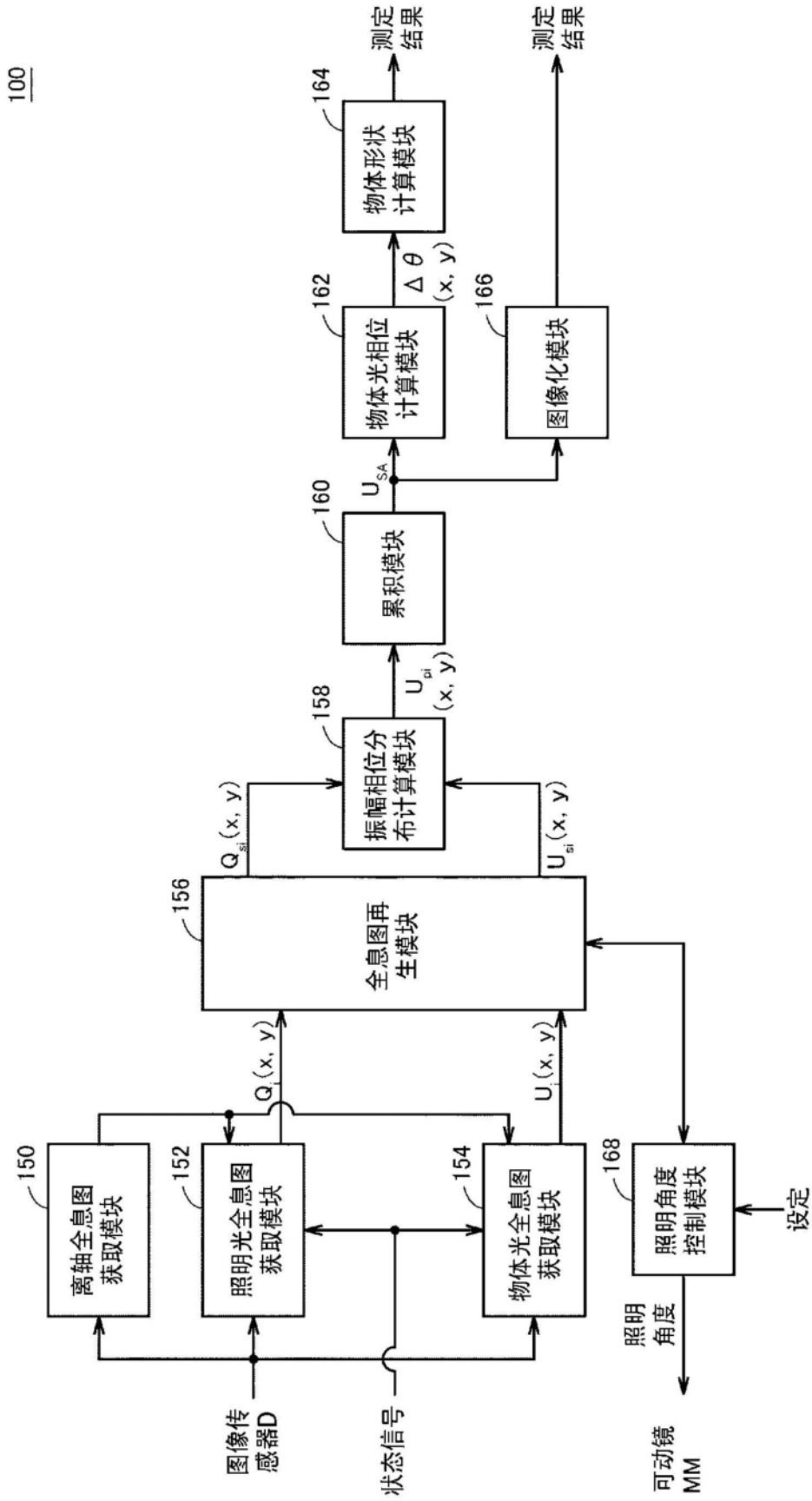


图13

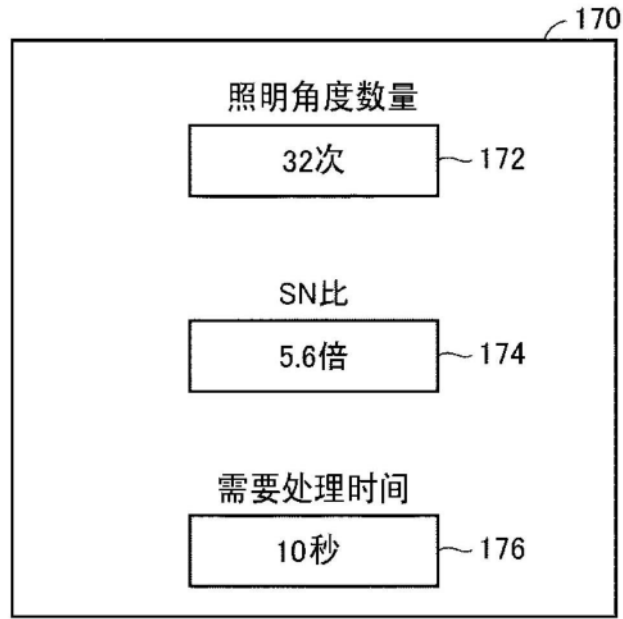
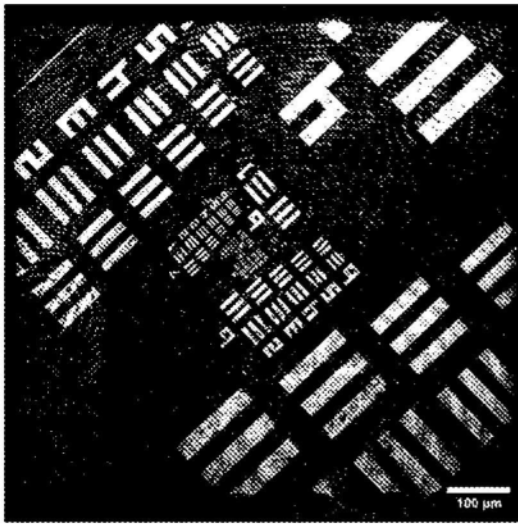
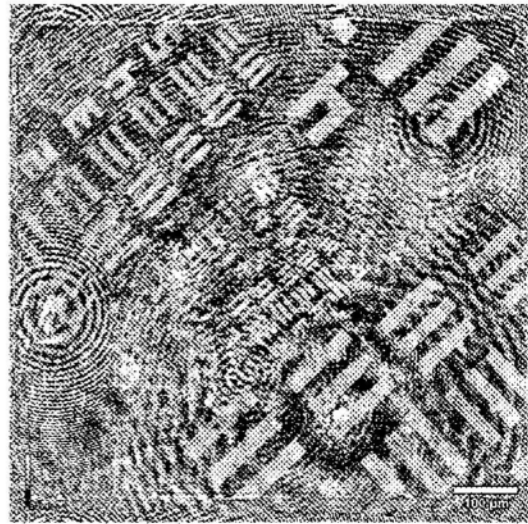


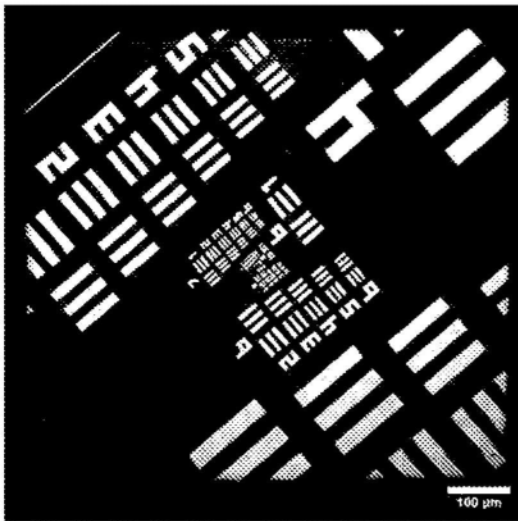
图14



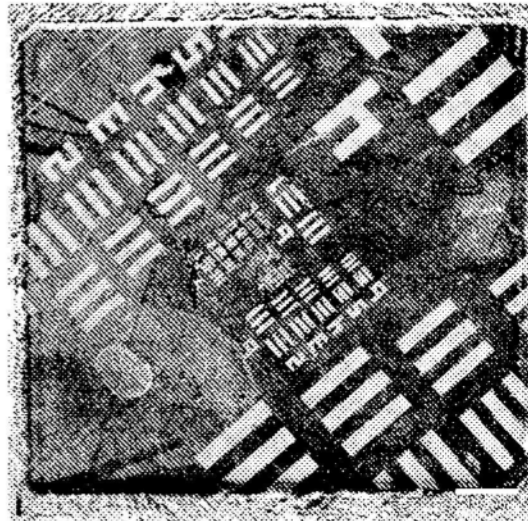
(A)



(B)

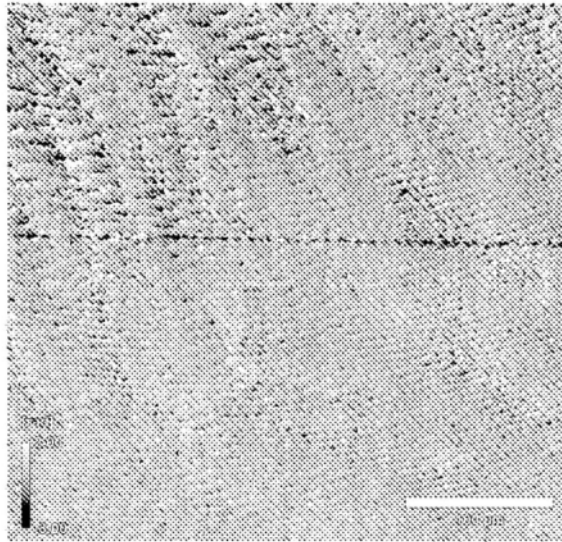


(C)

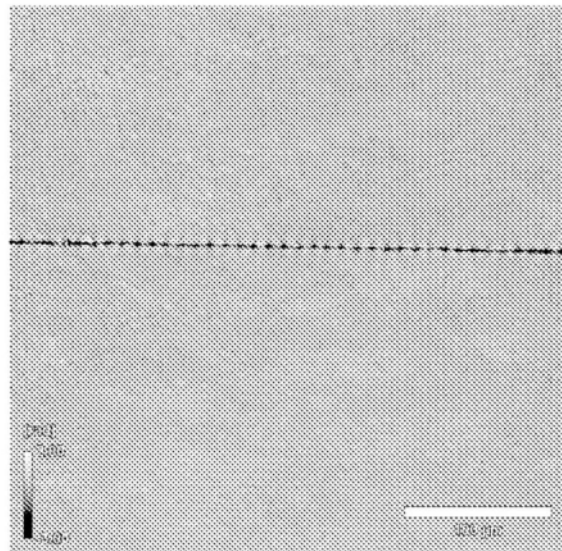


(D)

图15



(A)



(B)

图16

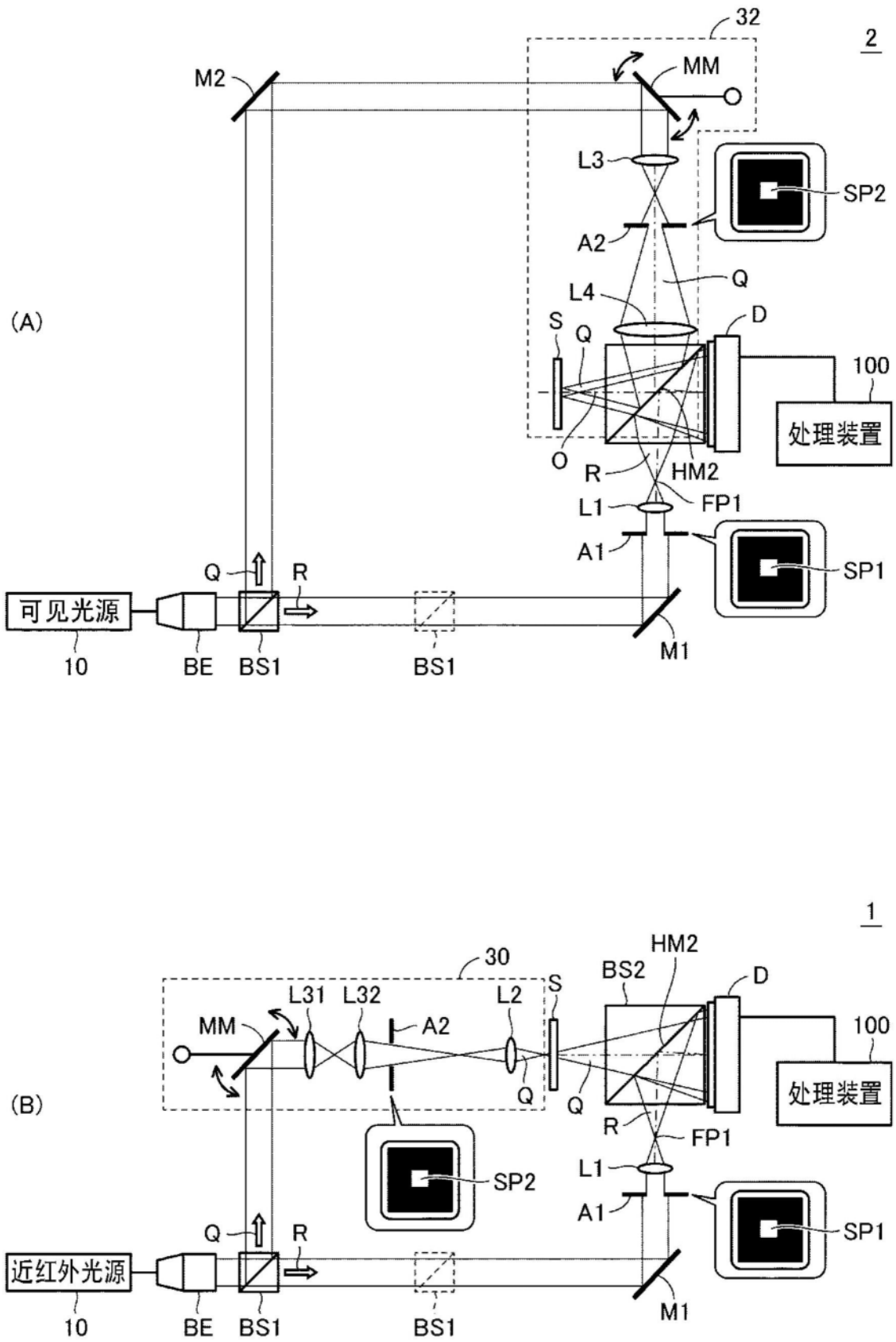


图17